ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

Проверен в 1990г

ВТОРИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Методы расчета устройств отвода тепла

ОСТ4 ГО.208.203

Редакция 1-77

Издание официальное

621.396.6.017.72.001.24

УДК ~~006.44.621.396.6.017.7~~ Группа Э02

Изм. 1 (…)

ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

ВТОРИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Методы расчета устройств отвода тепла

ОСТ4 ГО.208.203

Редакция I-77

Ограничение срока действия отменено

Директивным письмом организации от 23 декабря 1977г №: 017-1071к1817 срок действия установлен с 1 октября 1978г до 1 октября 1983г

Настоящий стандарт распространяется на системы вторичного электропитания (СВЭП) с воздушным охлаждением, работающие в стационарном режиме.

Стандарт устанавливает методы расчета устройств отвода тепла от элементов СВЭП.

Издание официальное

ГР 822513 от 81.10.31

Перепечатка воспрещена

Проверен в 1982 году

Ограничение срока действия от…

I. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

I.I. Основной конструктивной единицей, для которой проводят тепловой расчет, является гладкая или оребренная пластина (плата, шасси, основание радиатора, шина и т.д.) с установленными на ней элементами СВЭП.

I.2. Интенсивность теплообмена элемента СВЭП (транзистора, диода, микросборки и т.д.) с окружающей средой характеризуют приведенным коэффициентом теплопередачи основания элемента K, который определяют по формуле

$$K = \frac{P - P_к}{F_{эл}(t_э - t_c)}. \qquad (I)$$

где P – мощность, рассеиваемая элементом, Вт;

$P_к$ – мощность, рассеиваемая корпусом элемента, Вт;

$F_{эл}$ – площадь основания элемента, м^2;

$t_э$ – допустимая температура корпуса элемента, ^oC;

t_c – температура среды, ^oC.

I.3. Источником тепла (ИТ) считают элемент, у которого $K \geq 5$ Вт/м$^2\cdot{}^oC$.

I.4. Тепловой зоной ИТ называют участок пластины -основания оребрения, который полностью рассеивает тепло, передаваемое ИТ, и температура корпуса ИТ при этом не превышает допустимого или заданного значения.

2. ПОСТРОЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ МОДЕЛЕЙ

2.I. Узел или блок СВЭП представляют в виде набора плоских пластин. Распределение элементов по пластинам производят в соответствии с их функциональным назначением.

2.2. При построении тепловых моделей предполагают, что мощность ИТ частично рассеивается непосредственно корпусом элемента, остальная мощность рассеивается пластиной.

2.3. Интенсивность теплообмена ИТ с пластиной характеризуют коэффициентом теплопередачи контакта $K_к$, который определяют по формуле

$$K_к = \frac{1}{F_{эл} R_{кр}}, \qquad (2)$$

где $R_{кр}$ – тепловое сопротивление контакта корпуса ИТ с пластиной, ^oC/Вт, которое определяют по ОСТ4 Г0.0I2.0I4 и ОСТ4 865.002.

2.4. При построении тепловых моделей каждый ИТ представляют в виде цилиндра, высота которого равна высоте ИТ, а радиус R_o определяют по формуле

$$R_o = \sqrt{\frac{F_{эл}}{\pi}}. \qquad (3)$$

2.5. Участок пластины под ИТ, радиус которого равен радиусу ИТ, называют внутренней областью тепловой зоны. Интенсивность теплообмена внутренней области со средой характеризуют коэффициентом теплоотдачи $\alpha_в$.

Остальную часть пластины называют внешней областью тепловой зоны. Интенсивность теплообмена внешней области со средой

который обеспечивается конструкцией теплообменной поверхности, установленной в качестве оребрения.

Методика расчета $\alpha_{экв}$ приведена в обязательном приложении 1. Зависимости $\alpha_{экв}$ при различных видах охлаждения для теплообменных поверхностей разных конструкций приведены в рекомендуемом приложении 2.

2.6. При расчете и конструировании устройства отвода тепла для одиночного ИТ, именуемого далее радиатором, используют тепловую модель, показанную на черт.I.

2.7. При расчете и конструировании устройства отвода тепла для нескольких ИТ, именуемого далее групповым теплоотводом, используют тепловые модели, показанные на черт.2,3.

3. РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ

3.I. Расчет тепловой модели радиатора

3.I.I. Для расчета тепловой модели радиатора необходимы следующие исходные данные:

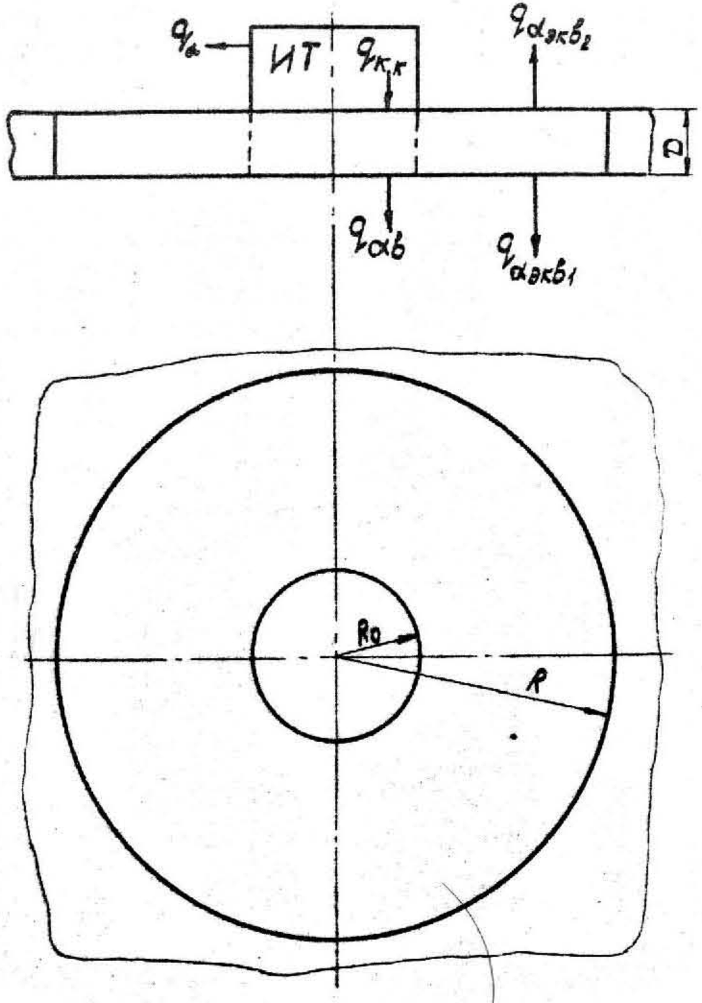
3.I.I.I. Цель расчета:

определение габаритов радиатора при заданной конструкции оребрения;

выбор оребрения, обеспечивающего минимальные габариты радиатора;

выбор оребрения и определение условий охлаждения, обеспечивающих заданные габариты радиатора.

Тепловая модель радиатора



Черт.I

характеризуют эквивалентным коэффициентом теплоотдачи пластины

$$\alpha_{экв} = \alpha_{экв_1} + \alpha_{экв_2},$$

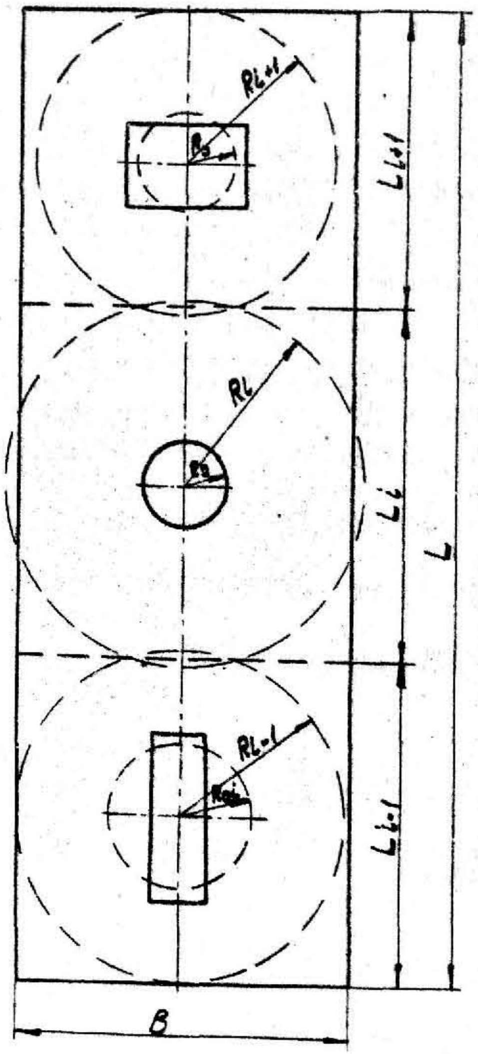
где $\alpha_{экв_1}$ и $\alpha_{экв_2}$ – коэффициенты теплоотдачи, которые обеспечиваются конструкцией теплообменных поверхностей, установленных в качестве оребрения на каждой стороне пластины.

Методика расчета $\alpha_{экв_{1(2)}}$ приведена в обязательном приложении I. Зависимости $\alpha_{экв_{1(2)}}$ при различных видах охлаждения для теплообменных поверхностей разных конструкций приведены в рекомендуемом приложении 2.

для одиночного ИТ, именуемого далее радиатором, используют тепловую модель, показанную на черт.I.

Тепловая модель группового

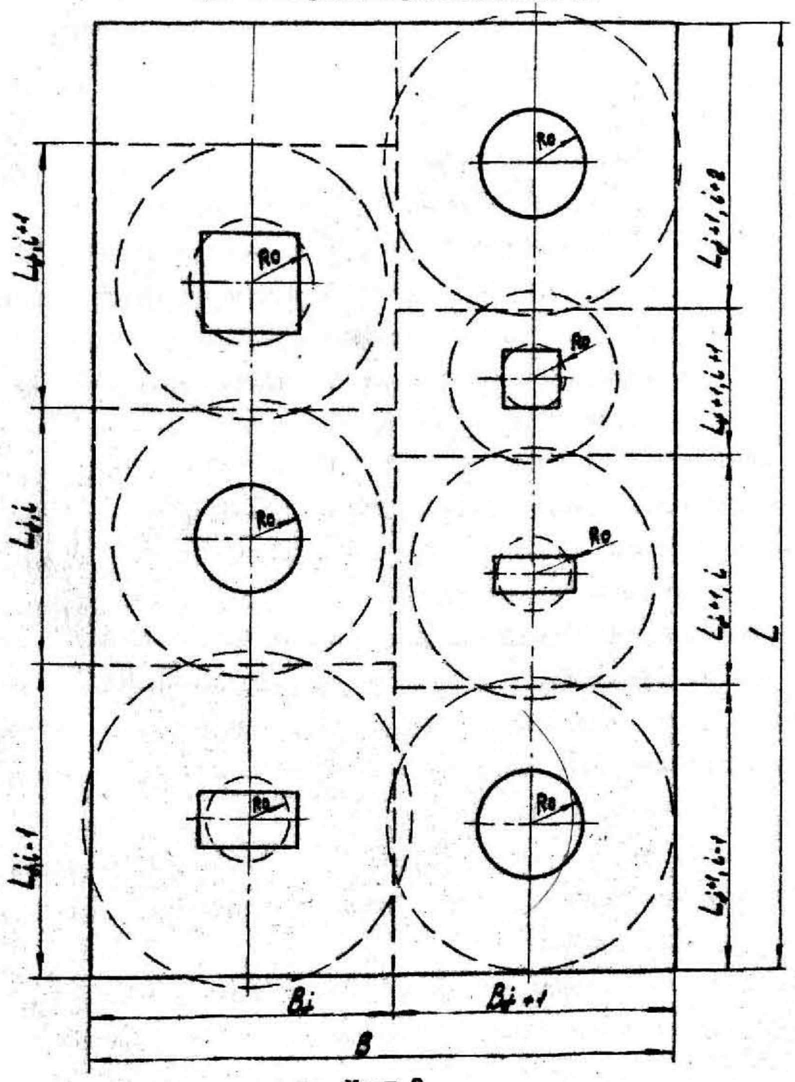
теплоотвода при однорядном расположении ИТ



Черт.2

Тепловая модель группового теплоотвода

при многорядном расположении ИТ



Черт.3

3.I.I.2. Сведения об ИТ, определяемые по техническим условиям:

мощность, рассеиваемая ИТ, P, Вт;

допустимая температура корпуса ИТ $t_{эл}$, °C;

радиус ИТ R_0, м;

площадь основания элемента $F_{эл}$, м^2.

3.I.I.3. Сведения об условиях охлаждения:

максимальное значение температуры среды t_c, °C;

скорость воздуха, подходящего к радиатору, W, м/с.

3.I.I.4. Сведения о конструкции узла, блока СВЭП:

длина платы, либо максимальная длина радиатора L_{max}, м;

ширина платы, либо максимальная ширина радиатора B_{max}, м;

расстояние между платами, либо максимальная высота радиатора H_{max}, м;

максимальная толщина пластины δ_{max}, м;

способ установки ИТ на радиаторе (необходимость выборки оребрения для выводов и крепления ИТ, необходимость изоляционной прокладки)

положение радиатора в блоке;

материал пластины.

3.I.2. Расчет тепловой модели радиатора с целью определения габаритов радиатора с заданной конструкцией оребрения проводят в следующем порядке:

3.I.2.I. Определяют тепловое сопротивление контакта $R_{кр}$ при заданных условиях установки по п.2.3 и коэффициент тепло-

передачи контакта $K_к$ по формуле (2).

3.I.2.2. Определяют мощность, рассеиваемую корпусом ИТ по формуле

$$P_к = \alpha_к F_к (t_{эл} - t_c), \qquad (4)$$

где $\alpha_к$ – коэффициент теплоотдачи корпуса, Вт/м^2 °C; рассеивающей мощность; P_c в окру[...]

$F_к$ – площадь поверхности корпуса ИТ, м^2,

Коэффициент теплоотдачи корпуса ИТ $\alpha_к$ определяют по табл.I рекомендуемого приложения 2. В качестве определяющего размера используют диаметр ИТ. Определяющую разность температур Δt при естественной конвекции определяют по формуле

$$\Delta t = t_{эл} - t_c. \qquad (5)$$

3.I.2.3. Определяют приведенный коэффициент теплопередачи основания K по формуле (I).

3.I.2.4. Проверяют выполнение условия

$$K_к \geq 2K. \qquad (6)$$

Если условие (6) не выполняется, то необходимо изменить конструкцию и способ крепления ИТ на плате с целью увеличения $K_к$ либо уменьшить мощность ИТ.

3.I.2.5. Определяют допустимый перегрев пластины $\Delta t_в$ по формуле

$$\Delta t_в = t_{эл} - t_c - \frac{P - P_к}{K_к F_{эл}}. \qquad (7)$$

3.I.2.6. Определяют $\alpha_{экв1(2)}$ оребрения заданной конструкции по табл.I-5, черт.I-I8 рекомендуемого приложения 2 или формулам

лам (1)-(9) обязательного приложения 1 для теплообменных поверхностей, характеристики которых не приведены в рекомендуемом приложении 2. ①

3.1.2.7. Определяют эквивалентный коэффициент теплоотдачи пластины во внутренней области тепловой зоны $\alpha_в = \alpha_{экв1}$ (черт. 1) ①

Если во внутренней области оребрение отсутствует, то $\alpha_в$ определяют по табл.1 рекомендуемого приложения 2. При наличии оребрения во внутренней области $\alpha_в = \alpha_{экв}$.

3.1.2.8. Определяют необходимое значение безразмерного коэффициента A, которое должно быть обеспечено конструкцией радиатора, по формуле ①

$$A = \left(K - \frac{K_к \cdot \alpha_в}{K_к + \alpha_в}\right) \cdot \frac{K_к + \alpha_в}{2K_к^2}. \qquad (8)$$

3.1.2.9. Толщину пластины δ выбирают, соблюдая условие

$$\delta \geq \frac{K_к + \alpha_в}{\lambda \cdot n} \cdot R_0^2, \qquad (9)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала пластины, Вт/м.°С (определяют по справочному приложению 3);

n – коэффициент, зависящий от необходимого значения A, (определяют по табл.1).

3.1.2.10. Определяют безразмерные параметры E и C по формулам:

$$E = \sqrt{\frac{K_к + \alpha_в}{\lambda \cdot \delta}} R_0; \qquad (10)$$

$$C = \sqrt{\frac{\alpha_{экв}}{K_к + \alpha_в}}. \qquad (11)$$

Таблица 1

A	n
От 0 до 0,10 вкл.	4,0
Св.0,10 " 0,15 "	3,0
" 0,15 " 0,20 "	0,7
" 0,20 " 0,25 "	0,3

3.1.2.11. Габариты радиатора определяют по графикам черт.4-~~16~~ 15 ①. Для рассчитанных значений E и C, пользуясь схемой черт.4, по соответствующему графику черт.6-15, определяют относительный размер тепловой зоны N.

3.1.2.12. Определяют радиус тепловой зоны R по формуле

$$R = NR_0. \qquad (12)$$

3.1.2.13. Определяют площадь тепловой зоны $F_{осн}$ по формуле

$$F_{осн} = \pi R^2. \qquad (13)$$ ①

3.1.2.14. Длину L и ширину B пластины выбирают в соответствии с габаритами узла или блока СВЭП при соблюдении условий

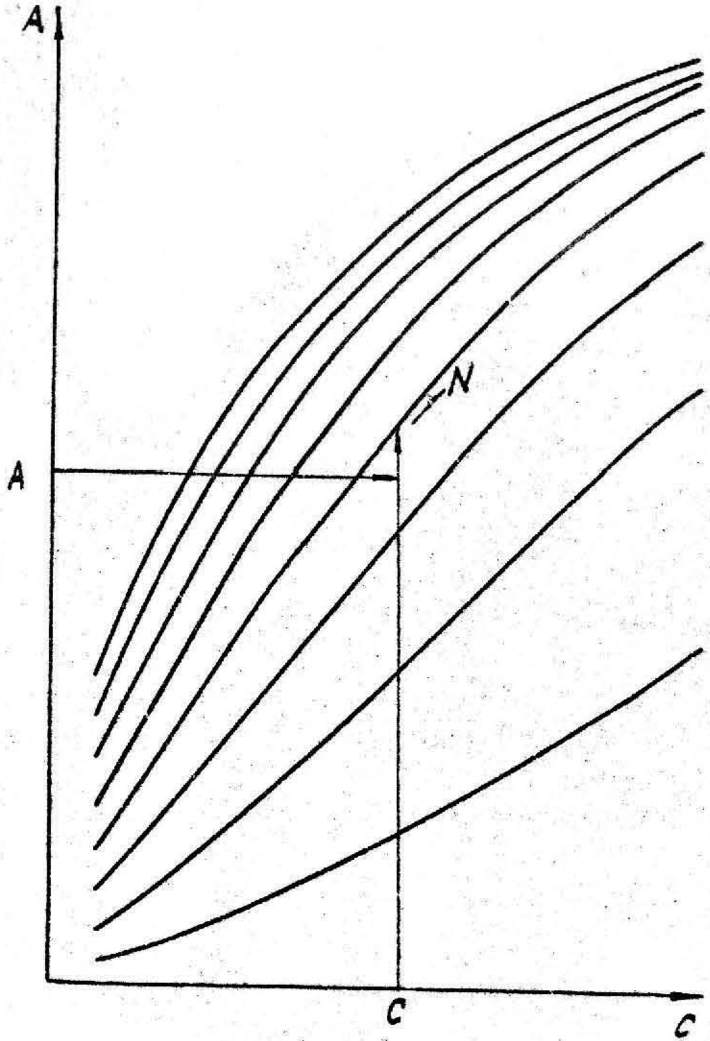
$$1{,}8 \leq \frac{B}{R} \leq 2{,}2; \qquad (14)$$

$$BL \geq F_{осн}. \qquad (15)$$

Пример расчета приведен в рекомендуемом приложении 4.

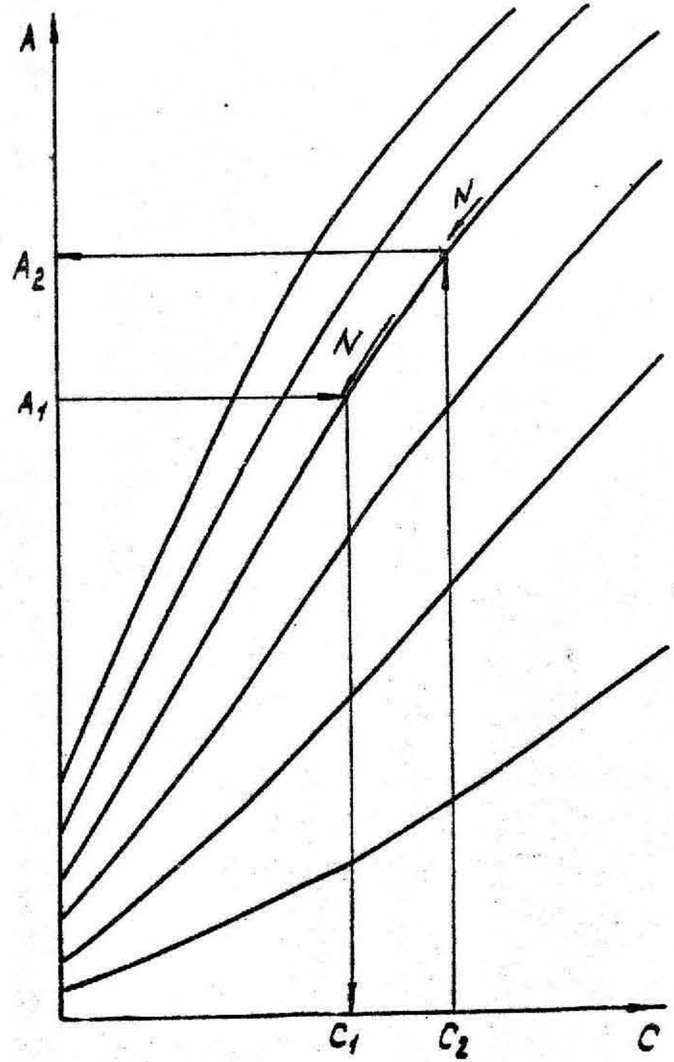
Максимальная погрешность расчета при определении основных расчетных величин по графикам составляет 20% в сторону запаса.

Определение N



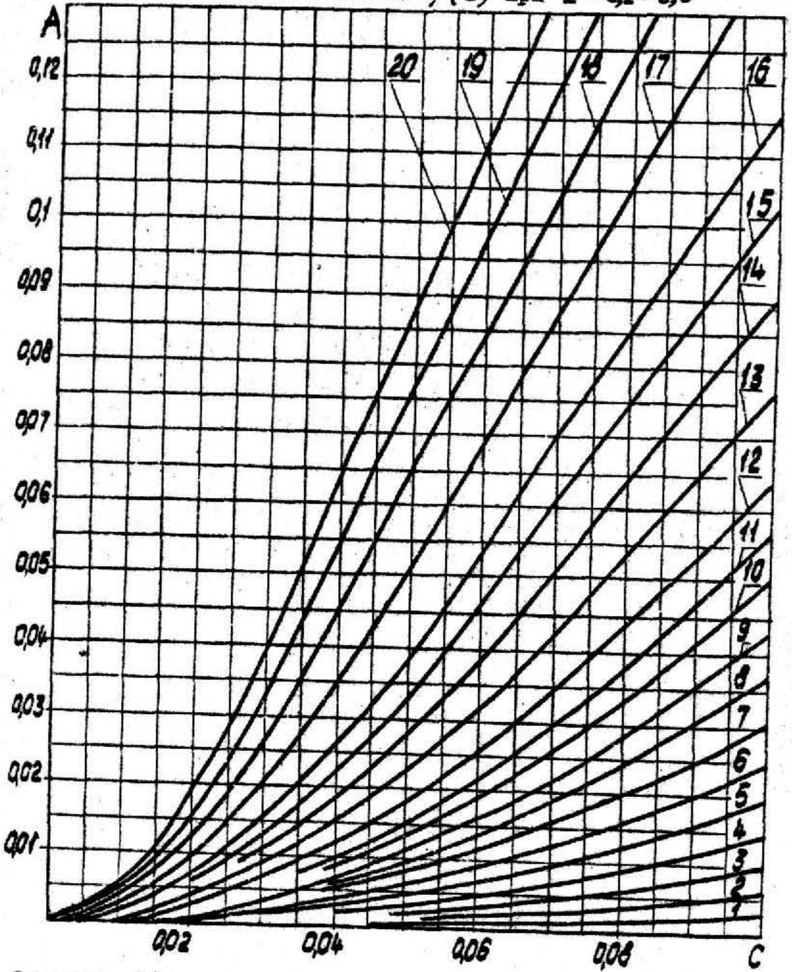
Черт.4

Определение A и C



Черт.5

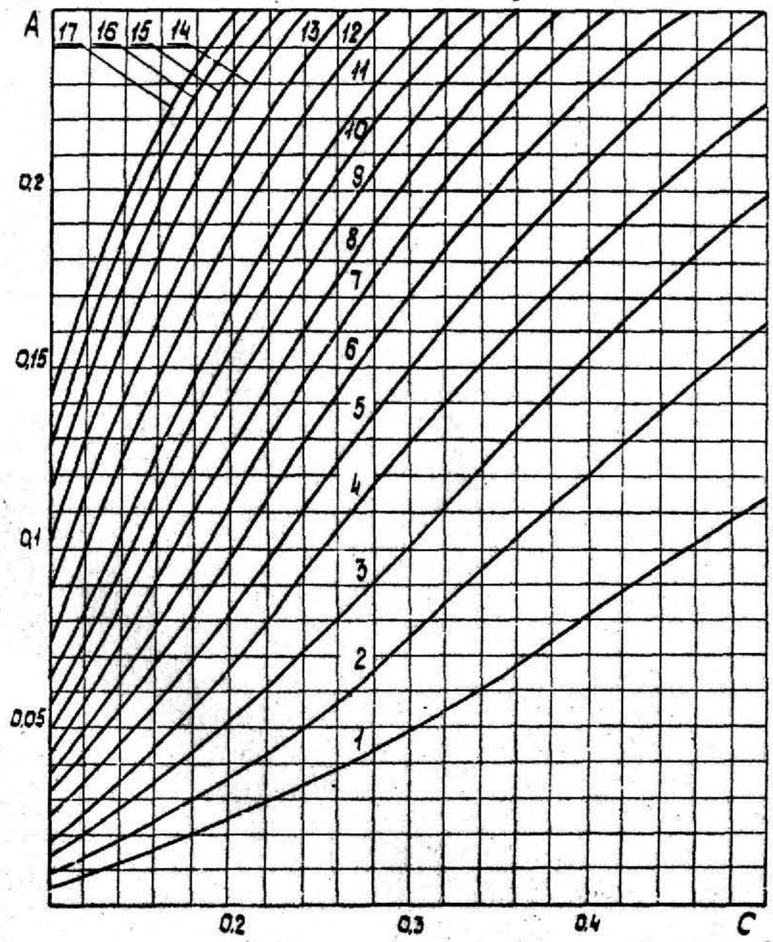
Зависимость $A=f(C)$ при $E=0{,}2-0{,}6$



Значения N : I-I,25; 2-I,5; 3-I,75; 4-2; 5-2,25; 6-2,5; 7-2,75; 8-3; 9-3,25; I0-3,5; II-3,75; I2-4; I3-4,5; I4-5; I5-5,5; I6-6; I7-7; I8-8; I9-9; 20-I0.

Черт.6

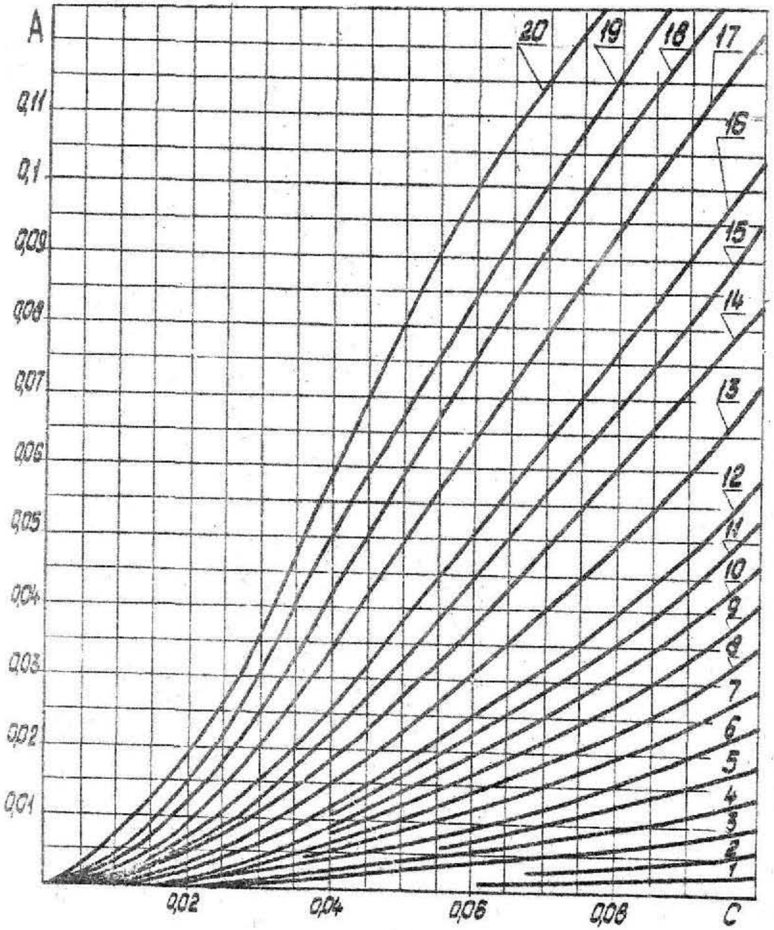
Зависимость $A=f(C)$ при $E=0{,}2-0{,}6$



Значения N : I-I,5; 2-I,75; 3-2; 4-2,25; 5-2,5; 6-2,75; 7-3; 8-3,25; 9-3,5; I0-3,75; II-4; I2-4,5; I3-5; I4-5,5; I5-6; I6-6,5; I7-7.

Черт.7

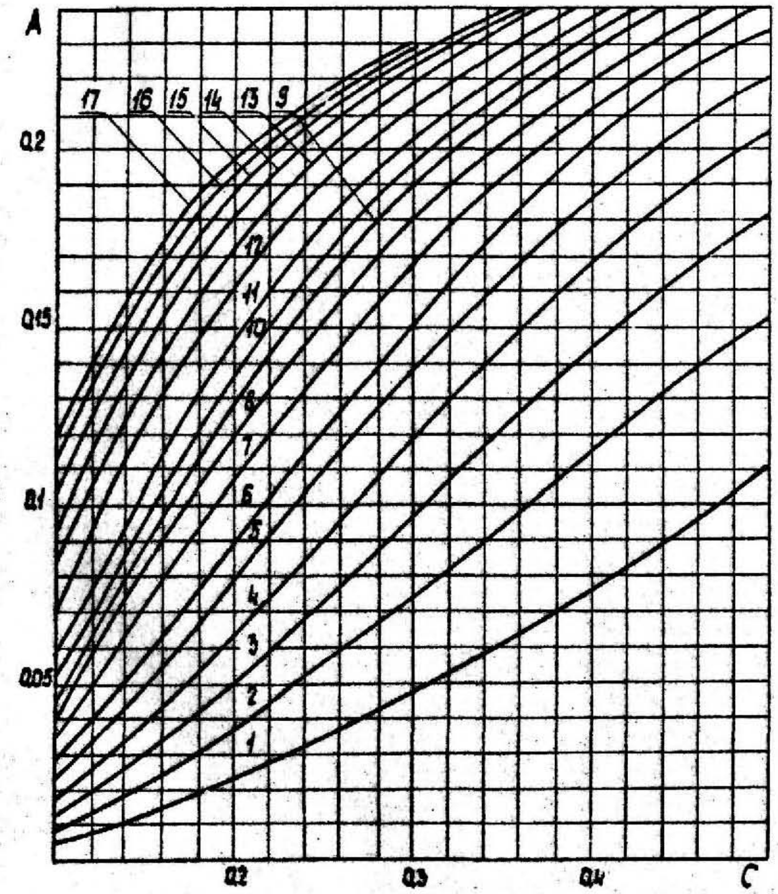
Зависимость $A=f(C)$ при $E=0,6-1$



Значения N : I-I,25; 2-I,5; 3-I,75; 4-2; 5-2,25; 6-2,5; 7-2,75; 8-3; 9-3,25; I0-3,5; II-3,75; I2-4; I3-4,5; I4-5; I5-5,5; I6-6; I7-7; I8-8; I9-9; 20-I0.

Черт.8

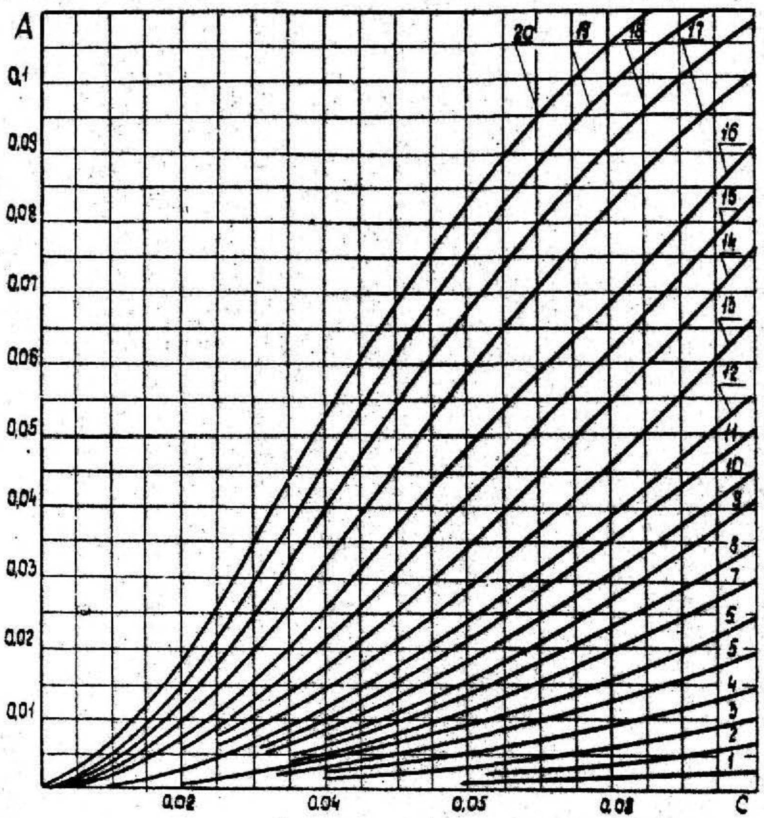
Зависимость $A=f(C)$ при $E=0,6-1$



Значения N : I-I,5; 2-I,75; 3-2; 4-2,25; 5-2,5; 6-2,75; 7-3; 8-3,25; 9-3,5; I0-3,75; II-4; I2-4,5; I3-5; I4-5,5; I5-6; I6-6,5; I7-7.

Черт.9

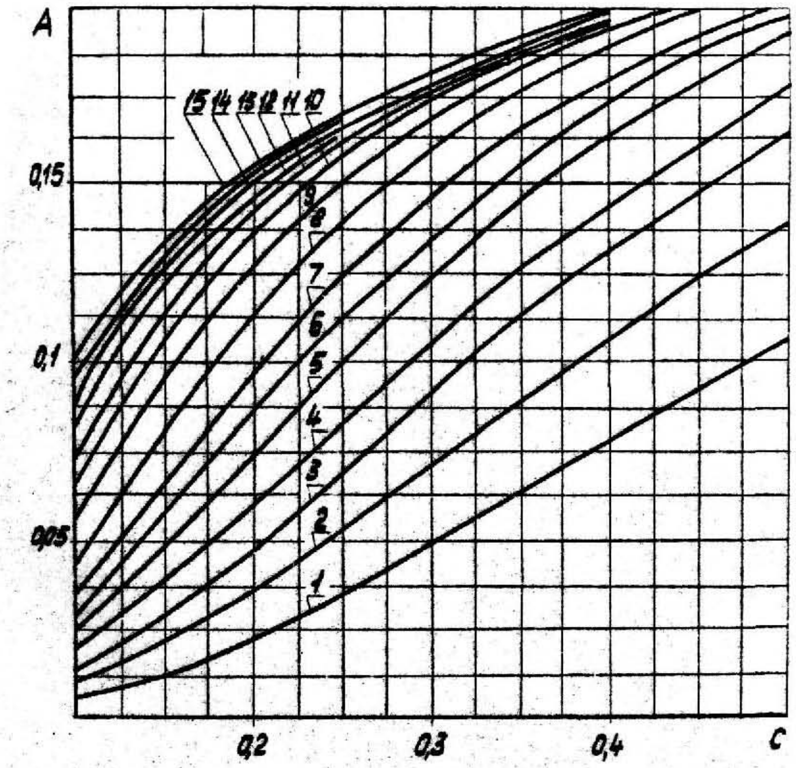
Зависимость $A=f(C)$ при $E=1-1,4$



Значения N : I-I,25; 2-I,5; 3-I,75; 4-2; 5-2,25; 6-2,5; 7-2,75; 8-3,0; 9-3,25; I0-3,5; II-3,75; I2-4,0; I3-4,5; I4-5; I5-5,5; I6-6; I7-7; I8-8: I9-9; 20-I0.

Черт.I0

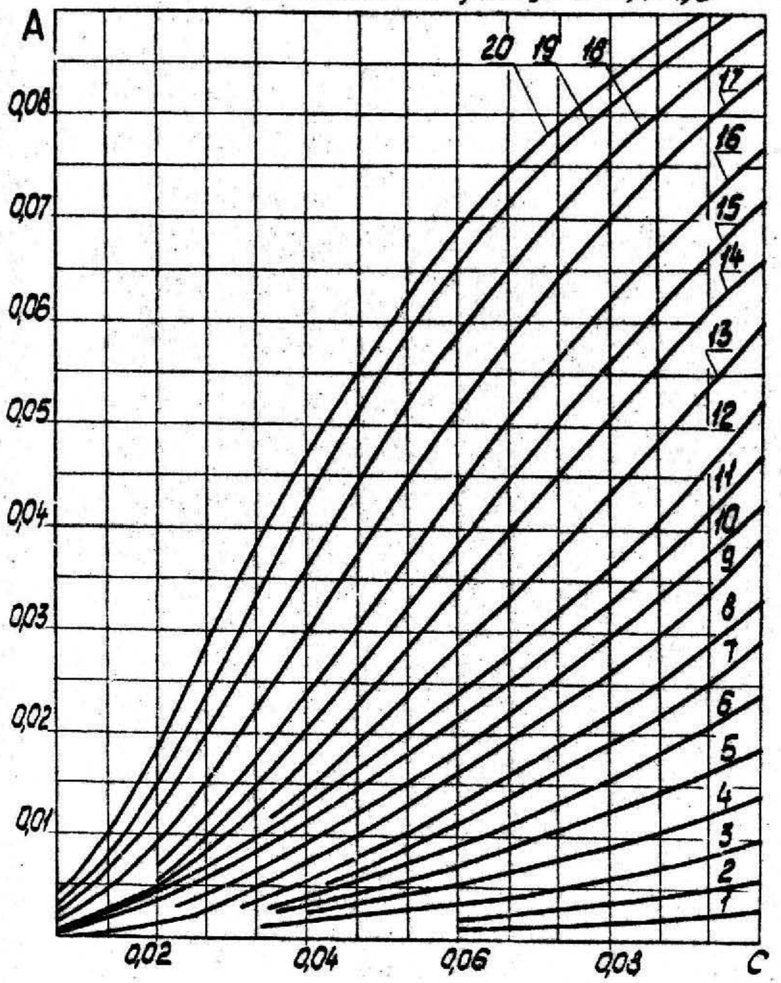
Зависимость $A=f(C)$ при $E=1-1,4$



Значения N : I-I,5; 2-I,75; 3-2; 4-2,25; 5-2,5; 6-2,75; 7-3; 8-3,5; 9-4; I0-4,5; II-5; I2-5,5; I3-6; I4-6,5; I5-7.

Черт.II

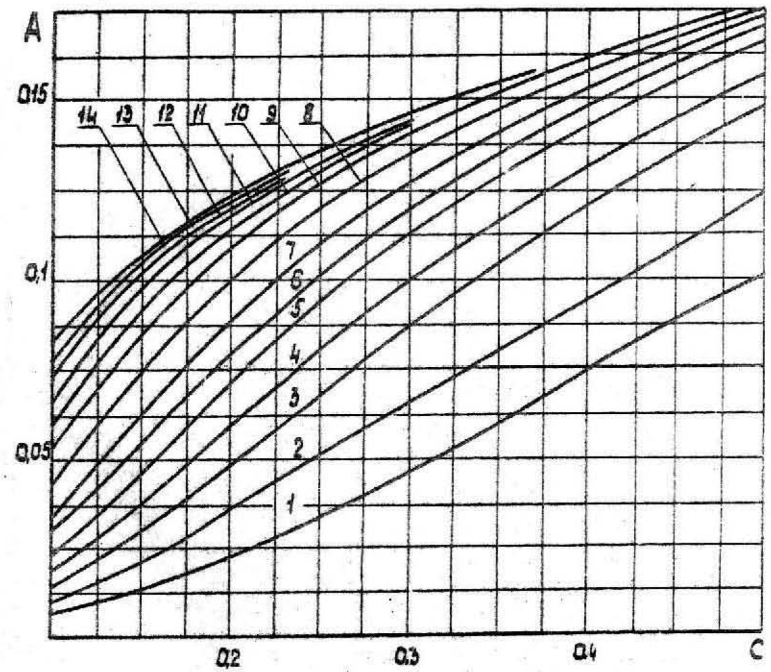
Зависимость $A=f(C)$ при $E=1,4-1,8$



Значения N : I-I,25; 2-I,5; 3-I,75; 4-2; 5-2,25; 6-2,5; 7-2,75; 8-3; 9-3,25; I0-3,5; II-3,75; I2-4; I3-4,5; I4-5; I5-5,5; I6-6; I7-7; I8-8; I9-9; 20-I0.

Черт.I2

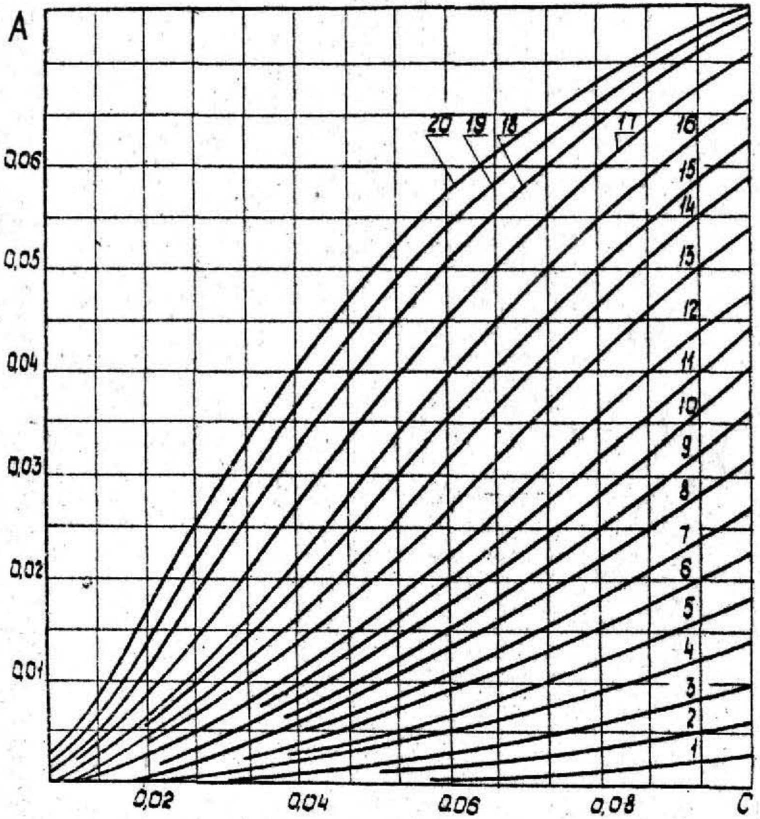
Зависимость $A=f(C)$ при $E=1,4-1,8$



Значения N : I-I,5; 2-I,75; 3-2; 4-2,25; 5-2,5; 6-2,75; 7-3, 8-4; 9-4,5; I0-5; II-5,5; I2-6; I3-6,5; I4-7; I5-8.

Черт.I3

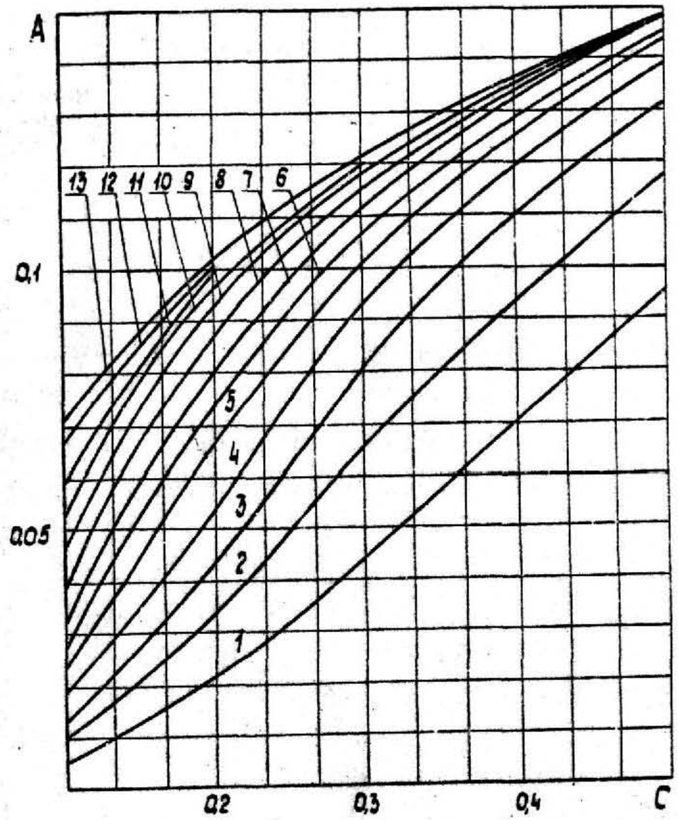
Зависимость $A=f(C)$ при $E=1,8-2,2$



Значения N : I-I,25; 2-I,5; 3-I,75; 4-2; 5-2,25; 6-2,25; 6-2,5; 7-2,75; 8-3,0; 9-3,25; I0-3,5; II-3,75; I2-4; I3-4,5; I4-5,0; I5-5,5; I6-6; I7-7; I8-8; I9-9; 20-8.

Черт.I4

Зависимость $A=f(C)$ при $E=1,8-2,2$



Значения N : I-I,5; 2-I,75; 3-2; 4-2,25; 5-2,75; 6-3; 7-3,5; 8-4; 9-4,5; I0-5; II-5,5; I2-6; I3-7.

Черт.I5

Для повышения точности и уменьшения затрат времени расчет радиуса тепловой зоны следует проводить на ЭВМ по программе ZONA 501.00003-01 ~~, приведенной в рекомендуемом приложении 5.~~ (3)

3.I.2.I5. Если габариты радиатора оказываются больше допустимых, либо значение N больше значений, указанных на соответствующем графике черт.6-I5, принимают следующие конструктивные меры:

увеличивают толщину пластины, либо выбирают материал пластины с большим значением λ ;

изменяют способ установки ИТ на пластине с целью увеличения коэффициентов $K_к$ и $\alpha_в$.

3.I.2.I6. Если конструктивные меры не приводят к уменьшению габаритов радиатора, то необходимо использовать принудительное охлаждение.

3.I.2.I7. Принимают ширину радиатора B, равной $6R_0$, скорость воздуха, подходящего к радиатору W, равной $1 м/с$, и определяют расход воздуха G по формуле

$$G = B \cdot W \cdot \rho \cdot H, \tag{I6}$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м^3;

H – высота оребрения, м.

3.I.2.I8. Определяют среднее значение температуры среды по формулам (2)

$$\bar{t}_c = t_c + \frac{P - P_к}{2G \cdot C_P}, \tag{I7}$$

или (2)

$$\bar{t}_c = t_c + \frac{P}{2G \cdot C_P}, \tag{I7а}$$

где C_P – коэффициент удельной теплоемкости воздуха, Дж/кг $\cdot$ °С.

Формула (I7) справедлива для случая расположения ИТ на неоребренной стороне радиатора с односторонним оребрением. Во всех остальных случаях справедлива формула (I7а).

где C_P – коэффициент удельной теплоемкости воздуха, Дж/кг·°С.

3.I.2.I9. Определяют $\alpha_{экв1(2)}$ (1) и $\alpha_в$ по пп.3.I.2.6, 3.I.2.7 и повторяют расчет по пп.3.I.2.2–3.I.2.4, 3.I.2.8–3.I.2.I5, принимая $t_c = \bar{t}_c$.

3.I.2.20. Если габариты радиатора оказываются больше допустимых, либо значение N больше значений, приведенных на соответствующем графике черт.6-I5, то увеличивают скорость воздуха, подходящего к радиатору, на 0,5 м/с и повторяют расчет по пп.3.I.2.I7–3.I.2.I9 при новом значении скорости. Увеличение значения скорости производят до тех пор, пока габариты радиатора станут меньше или равными допустимым.

3.I.3. Расчет тепловой модели радиатора с целью выбора оребрения, обеспечивающего минимальные габариты радиатора, проводят по пп.3.I.2.I–3.I.2.5. Затем по табл.I-5 и черт.I-I8 рекомендуемого приложения 2 выбирают в качестве оребрения теплообменную поверхность, которая при допустимой высоте и рассчитанном $\Delta t_в$ обеспечивает наибольшее значение $\alpha_{экв}$ при естественном охлаждении, и продолжают расчет по пп.3.I.2.7–3.I.2.I5.

Если габариты радиатора оказываются больше допустимых, либо значение N больше приведенных на соответствующем графике черт.6-I5, то необходимо использовать принудительное охлаждение.

Принимают $W =$ I м/с и по табл.I-5 и черт.I-I8 рекомендуемого приложения 2 выбирают теплообменную поверхность, которая обеспечивает наибольшее значение $\alpha_{экв}$ при допустимой величине H_{max}, и проводят расчет по пп.3.I.2.2, 3.I.2.I7–3.I.2.20.

3.I.4. Расчет тепловой модели радиатора с целью выбора оребрения, обеспечивающего заданные габариты радиатора, проводят в следующем порядке:

3.I.4.I. Определяют $K_к$ по п.3.I.2.I.

3.I.4.2. Принимают $P_к = 0$ и определяют K по формуле (I) и допустимый перегрев пластины $\Delta t_д$ по формуле (7).

3.I.4.3. Определяют относительный размер радиатора N по формуле

$$N = \sqrt{\frac{LB}{\pi R_0^2}}. \qquad (18)$$

3.I.4.4. Принимая $\alpha_в = 0$, определяют необходимое значение A по формуле (8), толщину пластины δ по п.3.I.2.9 и безразмерный параметр E по формуле (10).

3.I.4.5. Для рассчитанного значения E по соответствующему графику черт.6-I5, пользуясь схемой черт.5, по значению A и N определяют необходимое значение C.

3.I.4.6. Определяют значение $\alpha_{экв}$, при котором обеспечиваются заданные габариты радиатора, по формуле

$$\alpha_{экв} = C^2 K_к. \qquad (19)$$

3.I.4.7. По табл.I-5 и черт.I-I8 рекомендуемого приложения 2 определяют теплообменную поверхность, которая при рассчитанном значении $\Delta t_д$ и допустимой высоте оребрения H_{max} обеспечивает необходимое значение $\alpha_{экв}$ при естественном охлаждении.

3.I.4.8. Если необходимое значение $\alpha_{экв}$ не обеспечивается при естественном охлаждении, то необходимо применить принудительное охлаждение.

Принимают W = I м/с, определяют расход воздуха по формуле

$$G = B \cdot H_{max} \cdot \rho \cdot W. \qquad (20)$$

Принимают $P_к$ = 0 и определяют среднее значение температуры среды $\bar{t}_c$ по формуле (I7) и K по формуле (I).

Дальнейший расчет проводят по пп.3.I.4.4-3.I.4.6, затем по табл.I-5 и черт.I-I8 рекомендуемого приложения 2 определяют теплообменную поверхность, которая обеспечивает необходимое значение $\alpha_{экв}$ при W = I м/с и допустимой высоте оребрения H_{max}.

Если необходимое значение $\alpha_{экв}$ при W = I м/с не обеспечивается, то увеличивают скорость на 0,5 м/с и повторяют расчет до тех пор, пока не определят теплообменную поверхность и скорость W, обеспечивающие необходимое значение $\alpha_{экв}$.

3.I.5. Поверочный расчет радиатора проводят для определения мощности $P_з$, рассеиваемой радиатором в среду.

3.I.5.I. Исходными данными для поверочного расчета являются исходные данные по п.3.I.I и результаты расчета по пп.3.I.2-3.I.4:

ширина радиатора	B, м;
длина радиатора	L, м;
толщина пластины	δ, м;
допустимый перегрев пластины	$\Delta t_д$, °C;
коэффициент теплопередачи контакта	$K_к$, Вт/м^2·°C;
мощность, рассеиваемая корпусом ИТ,	$P_к$, Вт;
скорость воздуха, подходящего к радиатору	W, м/с;

конструкция теплообменной поверхности, используемой в качестве оребрения.

3.I.5.2. Поверочный расчет радиатора проводят в следующем порядке:

определяют относительный размер тепловой зоны N по формуле (I8);

определяют $\alpha_{экв_{1(2)}}$ и $\alpha_{в}$ по пп.3.I.2.6 и 3.I.2.7 при определяющем размере, равном длине радиатора L, перегреве $\Delta t_{э}$ либо скорости W;

определяют безразмерные параметры E и C по формулам ~~(9)~~, (I0), (11);

По рассчитанным значениям E, C, пользуясь схемой черт.5, по соответствующему графику черт.6-I5 определяют значение A, которое обеспечивает конструкция радиатора.

При принудительном охлаждении определяют расход воздуха G и среднюю температуру среды $\bar{t}_c$ по формулам (I6), (I7).

Рассчитывают мощность P_3, рассеиваемую радиатором, по формуле

$$P_3 = \pi R_0^2 (t_{эл} - t_c)\left(\frac{K_к \cdot \alpha_в}{K_к + \alpha_в} + \frac{2K_к^2}{K_к + \alpha_в} A\right) \quad (21)$$

и проверяют выполнение условия

$$P_3 \geqslant P - P_к. \quad (22)$$

3.I.5.3. Если условие (22) не выполняется при расчете тепловой модели радиатора по пп.3.I.2, 3.I.3, увеличивают радиус тепловой зоны на $0{,}5R_0$, определяют размеры пластины по п.3.I.2.I4 и повторяют поверочный расчет.

Если условие (22) не выполняется при расчете тепловой модели радиатора по п.3.I.4, то переходят к принудительному охлаждению либо увеличивают значение скорости воздуха, подходящего к радиатору, и повторяют поверочный расчет по п.3.I.5.2.

3.2. Расчет тепловой модели группового теплоотвода

3.2.I. Для расчета группового теплоотвода необходимы следующие исходные данные:

3.2.I.I. Цель расчета:

определение габаритов группового теплоотвода при заданном оребрении;

выбор оребрения, обеспечивающего минимальные габариты группового теплоотвода.

3.2.I.2. Сведения об источниках тепла:

количество ИТ, устанавливаемых на групповом теплоотводе, M;

мощность, рассеиваемая каждым ИТ, P_i, Вт;

допустимая температура корпуса каждого ИТ $t_{элi}$, °С;

радиус каждого ИТ R_{0i}, м;

площадь основания каждого ИТ $F_{элi}$, м².

3.2.I.3. Сведения об условиях охлаждения:

максимальное значение температуры среды t_c, °С;

скорость воздуха, подходящего к групповому теплоотводу, W, м/с.

3.2.I.4. Сведения о конструкции узла, блока СВЭП:

ширина платы, либо максимальная ширина группового теплоотвода B_{max}, м;

длина платы, либо максимальная длина группового теплоотвода L_{max}, м;

расстояние между платами, либо максимальная высота теплоотвода H_{max}, м;

максимальная толщина пластины δ_{max}, м;

положение группового теплоотвода в блоке;

материал пластины.

3.2.2. Расчет тепловой модели группового теплоотвода с целью определения габаритов группового теплоотвода проводят в следующем порядке:

3.2.2.I. Определяют мощность $P_{\kappa i}$, рассеиваемую корпусом каждого ИТ, по п.3.I.2.2.

3.2.2.2. Для каждого ИТ определяют приведенный коэффициент теплопередачи основания K_i по формуле (I).

3.2.2.3. Для каждого ИТ определяют коэффициент теплопередачи контакта $K_{\kappa i}$ по формуле (2). Конструкцию и способ крепления каждого ИТ на теплоотводе выбирают так, чтобы выполнялось условие $K_{\kappa i} \geqslant 2 K_i$.

3.2.2.4. Для каждого ИТ определяют величину допустимого перегрева пластины Δt_{di} по формуле (7).

3.2.2.5. Определяют коэффициент теплоотдачи внутренней области зоны $\alpha_{\mathcal{B}i}$ и эквивалентный коэффициент теплоотдачи теплообменной поверхности оребрения $\alpha_{\text{экв}i}$ для каждого ИТ.

3.2.2.6. Проводят расчет по пп.3.I.2.8-3.I.2.I3 для каждого ИТ.

3.2.2.7. Площадь пластины группового теплоотвода $F_{осн}$ определяют как сумму площадей тепловых зон всех ИТ

$$F_{осн} = \sum_{i=1}^{N} F_i , \qquad (23)$$

где F_i – площадь зоны одного ИТ, м^2.

3.2.2.8. Размеры пластины и число групповых теплоотводов определяют в зависимости от габаритов узла, блока СВЭП.

3.2.2.9. Размещение ИТ на групповом теплоотводе проводят в соответствии с их функциональным назначением. Ширину B_i и длину L_i зоны каждого ИТ определяют по п.3.I.2.I4. Каждый ИТ устанавливают в центре его тепловой зоны.

3.2.2.I0. Если площадь пластины, определенная в п.3.2.2.7, окажется больше площади, определяемой габаритными размерами узла, блока, либо для некоторых ИТ N больше значений, указанных на соответствующем графике черт.6-I5, то для уменьшения габаритов группового теплоотвода принимают конструктивные меры, описанные в п.3.I.2.I5, и повторяют расчет по пп.3.2.2.2-3.2.2.9.

3.2.2.II. Если конструктивные меры не приводят к уменьшению габаритов группового теплоотвода, то переходят к принудительному охлаждению.

Принимают ширину группового теплоотвода B равной шести радиусам ИТ с наибольшей площадью основания, скорость W=I м/с и определяют расход воздуха по п.3.I.2.I7.

3.2.2.I2. Определяют перегрев воздуха $\Delta t_в$ при расположении ИТ в один ряд в направлении обдува по формуле

$$\Delta t_в = \frac{\sum_{i=1}^{M} P_i}{G c_в}, \qquad (24)$$

где $\sum_{i=1}^{M} P_i$ – суммарная мощность ИТ, Вт.

3.2.2.I3. Для ИТ с максимальным значением допустимой температуры корпуса $t_{эл.max}$ проверяют выполнение необходимого условия охлаждения

$$t_{эл.max} > t_c + \Delta t_в . \qquad (25)$$

Если это условие не выполняется, то необходимо увеличить расход воздуха. Если расход воздуха либо его скорость ограничены, то устанавливают ИТ в два или большее число рядов, распределяя ИТ по рядам так, чтобы ширина рядов и суммарная мощность ИТ в каждом ряду были равны. Если мощность распределена по рядам неравномерно, ширину каждого ряда определяют из условия равномерности прогрева воздуха

$$\frac{B_{max}}{\sum_{i=1}^{M} P_i} = \frac{B_j}{P_j} = \frac{B_{j+1}}{P_{j+1}}, \qquad (26)$$

где B_j, B_{j+1} – ширина ряда, м;

P_j, P_{j+1} – суммарная мощность ИТ в ряду, Вт.

Далее приводится расчет для одного из рядов.

3.2.2.I4. Определяют расход воздуха по формуле (I6) при $B = B_j$ и среднее значение температуры среды $\bar{t}_c$ при мощности $P = P_j$ по формуле (I7).

3.2.2.I5. Определяют K_i каждого элемента при $t_c = \bar{t}_c$ по формуле (I).

3.2.2.I6. Устанавливают ИТ в ряд по возрастанию $t_{элi}$. ИТ с одинаковыми значениями $t_{элi}$ устанавливают по уменьшению K_i.

3.2.2.I7. Определяют среднее значение температуры среды в зоне ИТ $\bar{t}_{ci}$ по формуле

$$\bar{t}_{ci} = t_c + \frac{2\sum_{i=1}^{K=i-1} P_i + P_i}{2 G c_p}, \qquad (27)$$

где $\sum_{i=1}^{K=i-1} P_i$ – суммарная мощность ИТ, установленных в ряду перед рассматриваемым ИТ, Вт.

Затем проверяют выполнение необходимого условия охлаждения для каждого ИТ

$$t_{элi} > \bar{t}_{ci} . \qquad (28)$$

3.2.2.I8. Определяют $\alpha_{л\,i(I)}$ и $\alpha_{в\,i(I)}$ по пп.3.I.2.6, 3.I.2.7.

3.2.2.I9. Определяют толщину пластины δ по п.3.I.2.9.

3.2.2.20. Расчет площади тепловой зоны каждого ИТ проводят по пп.3.I.2.8, 3.I.2.I0–3.I.2.I3.

3.2.2.2I. Протяженность ряда L_j определяют как сумму длин отдельных зон по формуле

$$L_j = \sum_{i=1}^{m} L_i , \qquad (29)$$

где m – число элементов в ряду.

3.2.2.22. Если размеры группового теплоотвода превышают габариты узла СВЭП либо для некоторых ИТ значения N больше указанных на соответствующем графике черт.6-I5, то увеличивают W на 0,5 м/с либо увеличивают число рядов и повторяют расчет по пп.3.2.2.II-3.2.2.2I.

3.2.3. Расчет тепловой модели с целью выбора оребрения, обеспечивающего минимальные габариты группового теплоотвода, проводят по пп.3.2.2.I-3.2.2.4. Затем выбирают теплообменную поверхность, которая обеспечивает наибольшее значение $\alpha_{экв i}$ для ИТ с наименьшим значением $\Delta t_{дi}$ при допустимой высоте группового теплоотвода H_{max}, и повторяют расчет по пп.3.2.2.6-3.2.2.I0.

Если необходимо перейти к принудительному охлаждению, то принимают W = I м/с и по табл.I-5, черт.I-I8 рекомендуемого приложения 2 выбирают в качестве оребрения теплообменную поверхность, которая при допустимой высоте оребрения обеспечивает наибольшее значение $\alpha_{экв i}$ и повторяют расчет по пп.3.2.2.I2-3.2.2.22.

3.2.4. Поверочный расчет группового теплоотвода проводят для тепловой зоны каждого ИТ по п.3.I.5, рассчитывая $\bar{t}_{ci}$ при принудительной конвекции по п.3.2.2.I7.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Обязательное

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ

В качестве оребрения радиаторов и групповых теплоотводов может быть использована любая теплообменная поверхность, представляющая собой набор повторяющихся элементов, шаг установки которых соизмерим с эквивалентным радиусом ИТ.

Для выбранного оребрения должны быть известны определяющие температуры критериальные зависимости теплообмена от условий охлаждения вида

$$Nu = c \cdot Re^{h}; \qquad (1)$$

$$Nu = b \cdot Gr^{q} Pr^{r}, \qquad (2)$$

$$Nu = \frac{\alpha_p l_{опр}}{\lambda_{возд}}; \qquad (3)$$

$$Re = \frac{W \cdot l_{опр}}{\nu}; \qquad (4)$$

$$Gr = \frac{g \cdot l_{опр}^{3}}{\nu^{2}} \beta \Delta t_{д}; \qquad (5)$$

$$Pr = \frac{\nu}{a}, \qquad (6)$$

где Nu – число Нуссельта;

c, h, b, q, r – постоянные коэффициенты, характеризующие закон теплообмена;

Re – число Рейнольдса;

Gr – число Грасгофа;

P_r – число Прандтля;

α_p – коэффициент теплоотдачи теплообменной поверхности, Вт/м^2 $^\circ$C;

$l_{опр}$ – определяющий размер теплообменной поверхности, м;

$\lambda_в$ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/м $^\circ$C;

ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, м^2/с;

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

β – коэффициент линейного расширения, I/$^\circ$C;

a – коэффициент температуропроводности воздуха, м^2/с;

Эквивалентный коэффициент теплоотдачи, который обеспечивает теплообменная поверхность, определяют по формуле

$$\alpha_{экв_{1(2)}} = (\alpha_{осн} \cdot F_0 + \alpha_p \eta_p F_n) / F_{осн}, \qquad (7)$$

①

где $\alpha_{осн}$ – коэффициент теплоотдачи пластины, Вт/м$^2 \cdot$ $^\circ$C;

S_o – площадь пластины, свободная от установки элементов теплообменной поверхности, м^2;

η – эффективность элемента теплообменной поверхности;

F_n – площадь элементов теплообменной поверхности, м^2;

$F_{осн}$ – площадь пластины, м^2.

Эффективность ребра η определяют по формуле

$$\eta = \frac{th\left(H_p\sqrt{\frac{u\,\alpha_p}{\lambda F_p}}\right)}{H_p\sqrt{\frac{u\,\alpha_p}{\lambda F_p}}},$$

где u – периметр элемента теплообменной поверхности, м;

H_p – высота элемента теплообменной поверхности, м;

F_p – площадь поперечного сечения элемента теплообменной поверхности, м^2.

Если зависимости (I) и (2) определяют коэффициент теплоотдачи только для элемента теплообменной поверхности, расчет ① → $\alpha_{осн}$ выполняют по формулам, приведенным в табл.I рекомендуемого приложения 2.

Если зависимости (I) и (2) определяют коэффициент теплоотдачи для всей поверхности, участвующей в теплообмене, то

$$\alpha_{осн} = \alpha_p. \qquad (9)$$

Эквивалентный коэффициент теплоотдачи пластины определяют как сумму эквивалентных коэффициентов теплоотдачи теплообменных поверхностей, установленных на каждой стороне пластины.

Если теплообменная поверхность установлена на одной стороне пластины, то эквивалентный коэффициент теплоотдачи пластины определяют как сумму эквивалентного коэффициента теплоотдачи теплообменной поверхности и коэффициента теплоотдачи гладкой пластины ~~$\alpha_{экв_{гл}}$~~ ①, если она принимает участие в теплообмене

$$\sout{\alpha_{экв} = \alpha_{экв1} + \alpha_{экв_{гл}}} \cdot ① \qquad (10)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Рекомендуемое

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В табл.I-5 настоящего приложения приведены геометрические размеры и критериальные зависимости теплообмена гладкой, ребристой, игольчато-штыревой, жалюзийной и петельно-проволочной теплообменных поверхностей, которые рекомендуется использовать в качестве оребрения радиаторов и групповых теплоотводов.

Конструкции перечисленных поверхностей и зависимости от условий охлаждения приведены на черт.I-I8 настоящего приложения.

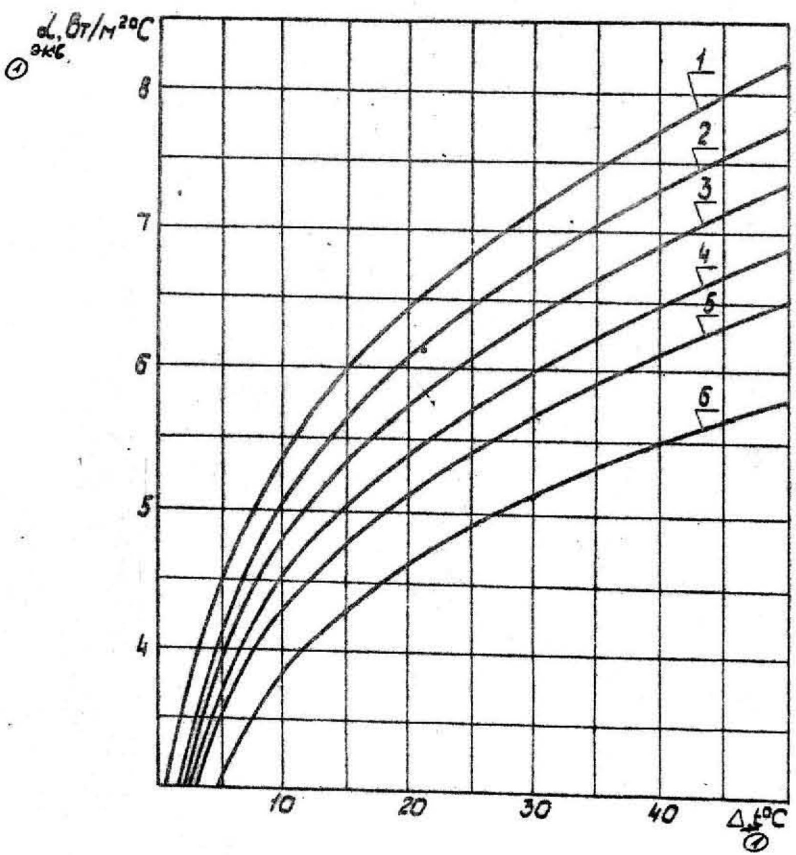
Таблица I

Критериальные зависимости теплообмена для гладкой поверхности

(определяющий размер - длина поверхности в направлении движения воздуха L, м)

Способ и условия охлаждения	Критериальные зависимости теплообмена	Номер чертежа для определения $\alpha_{экв}$	Примечание
Естественное охлаждение		I	Для горизонтальной пластины, обращенной теплоотдающей поверхностью вверх, $\alpha_{экв}$ увеличивают на 30%, для пластины, обращенной теплоотдающей поверхностью вниз, $\alpha_{экв}$ уменьшают на 30%.
$Pr \cdot Gr < 10^{-3}$	$Nu = 0{,}45$		
$10^{-3} \le Pr \cdot Gr < 500$	$Nu = 1{,}18 (Pr \cdot Gr)^{0{,}125}$		
$500 \le Pr \cdot Gr < 2 \cdot 10^{7}$	$Nu = 0{,}54 (Pr \cdot Gr)^{0{,}25}$		
$Pr \cdot Gr \ge 2 \cdot 10^{7}$	$Nu = 0{,}135 (Pr \cdot Gr)^{0{,}33}$		
Принудительное охлаждение	~~$Nu = 0{,}032\, Pr^{0{,}33} Re^{0{,}8}$~~	2	
$1 \cdot 10^{2} < Re < 2 \cdot 10^{3}$	$Nu = 0{,}67\, Re^{0{,}5} Pr^{0{,}33}$		
$2 \cdot 10^{3} \le Re < 1 \cdot 10^{5}$	$Nu = 0{,}035\, Re^{0{,}8} Pr^{0{,}33}$		

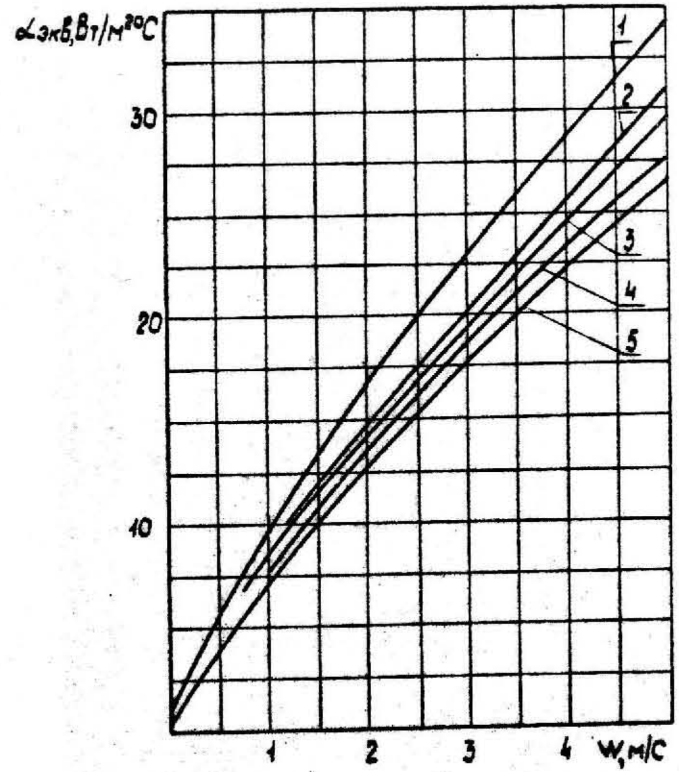
Зависимость $\alpha_{экв} = f(\Delta t)$



Значения $\angle$: I-0,04; 2-0,05; 3-0,063; 4-0,08; 5-0,I; 6-0,I55.

Черт.I

Зависимость $\alpha_{экв} = f(W)$



Значения $\angle$:

I-0,04; 2-0,06; 3-0,08; 4-0,I; 5-0,I25.

Черт.2

Таблица 2

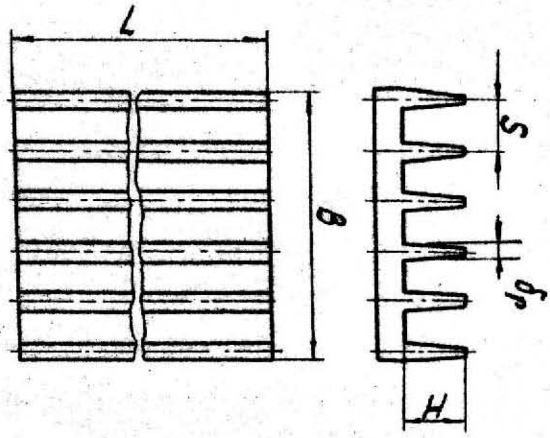
Геометрические размеры и критериальные зависимости теплообмена ребристой поверхности

(определяющий размер – длина в направлении движения воздуха L, м)

Номер чертежа конструкции	Геометрические размеры, м S	δ_p	H	Способ и условия охлаждения	Критериальные зависимости теплообмена	Номер чертежа для определения $\alpha_{экв}$
К3 ①	0,010	0,001		Естественное охлаждение		~~5~~ 4
			0,0125	$Pr\,Gr < 10^{-3}$	$Nu = 0{,}45$	
			0,0200	$10^{-3} < Pr\,Gr < 500$	$Nu = 0{,}18(Pr\,Gr)^{0{,}125}$	
			0,0320	$500 < Pr\,Gr < 2\cdot10^{7}$	$Nu = 0{,}54(Pr\,Gr)^{0{,}25}$	
				$2\cdot10^{7} < Pr\,Gr$	$Nu = 0{,}135(Pr\,Gr)^{0{,}33}$	
	0,005		0,0125	Принудительное охлаждение		5 ① ~~8~~
			0,0200			
			0,0320	$W_p = 1{,}25\,W$	$Nu = 0{,}032\,Pr^{0{,}33}\,Re^{0{,}8}$	

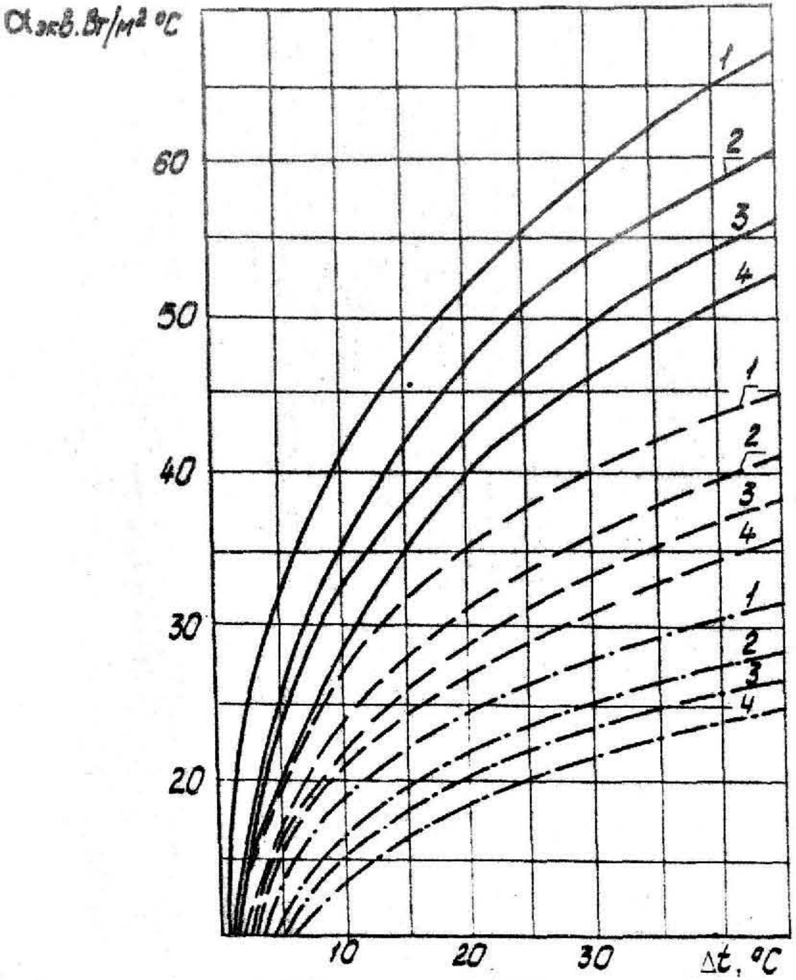
Примечание. W_p – скорость воздуха, обтекающего элемент теплообменной поверхности, м/с.

Ребристая поверхность



Черт.3

Зависимость $\alpha_{экв} = f(\Delta t)$; $S = 0{,}010$

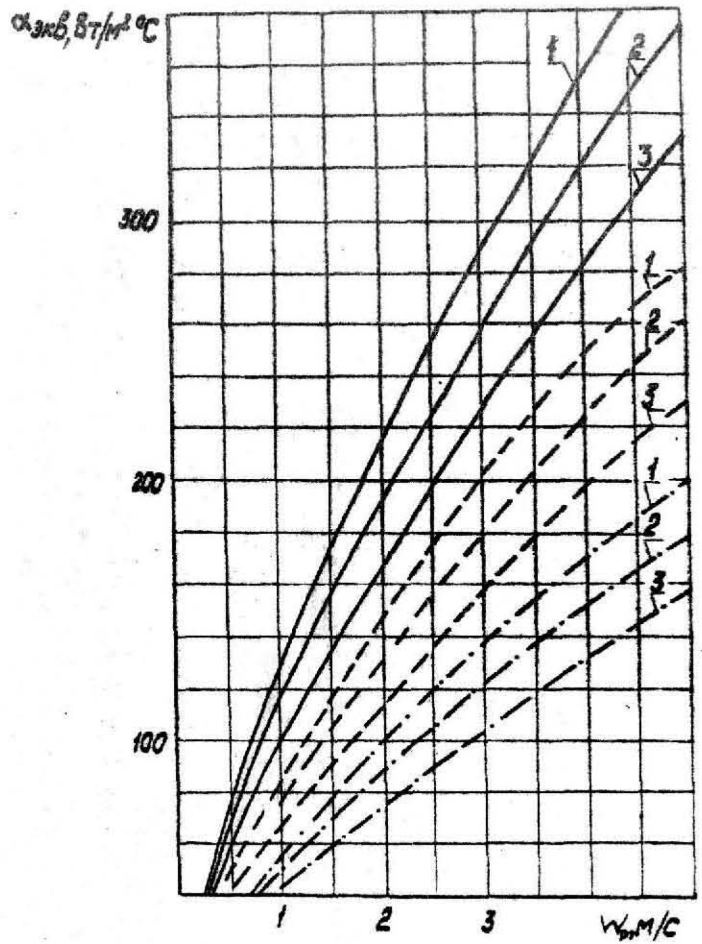


Значения H : —— 0,0320; – – – –0,0200; —·—·— 0,0I25.

Значения L : I–0,04; 2–0,05; 3–0,06; 4–0,08.

Черт.4

Зависимость $\alpha_{экв} = f(W)$; $S = 0{,}005$



Значения H : —— 0,032; – – – 0,02; —·— 0,0I25.

Значения L : I–0,04; 2–0,06; 3–0,I2.

Черт.5

Таблица 3

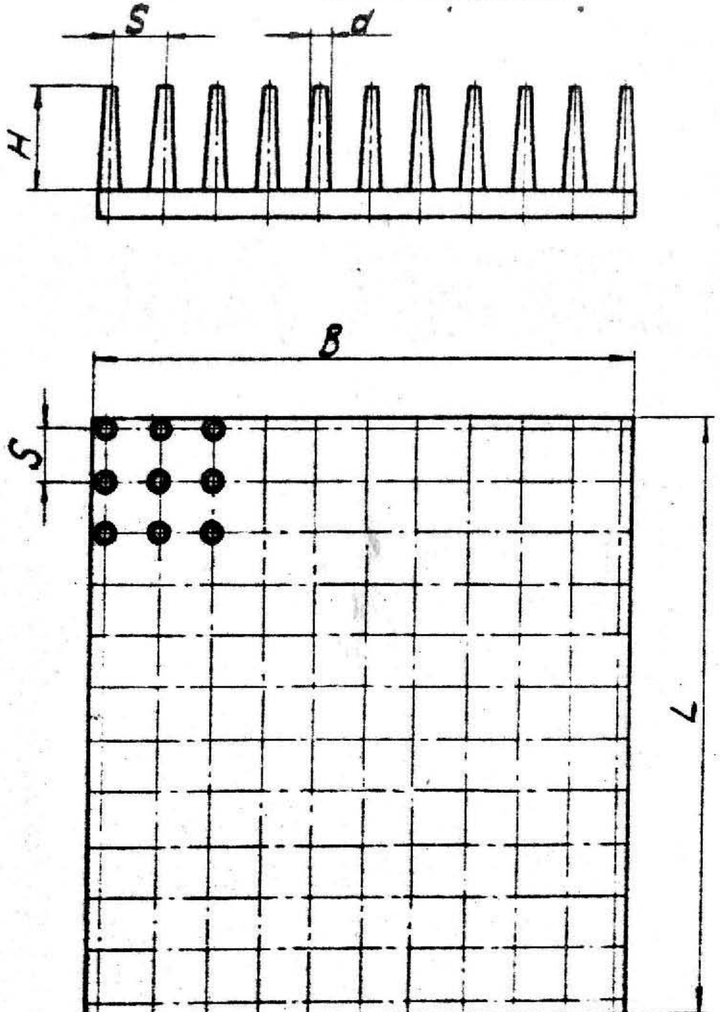
Геометрические размеры и критериальные зависимости теплообмена для игольчато-штыревой поверхности (определяющий размер – диаметр штыря d, м)

Номер чертежа конструкции	Геометрические размеры, м d	H	S	Способ и условия охлаждения	Критериальные зависимости теплообмена	Номер чертежа для определения $\alpha_{экв}$
№ 6 (1)	0,0020	0,0125	0,007	Естественное охлаждение		7
		0,0150				
		0,0200				
	0,0025	0,0320		$GrPr < 500$	$Nu = 1{,}18(GrPr)^{0{,}125}$	
	0,0020	0,0125	0,009			8
		0,0150		$500 \leq GrPr < 2\cdot10^7$	$Nu = 0{,}54(GrPr)^{0{,}25}$	
		0,0200		$GrPr > 2\cdot10^7$	$Nu = 0{,}135(GrPr)^{0{,}33}$	
	0,0025	0,0320				

Продолжение табл.3

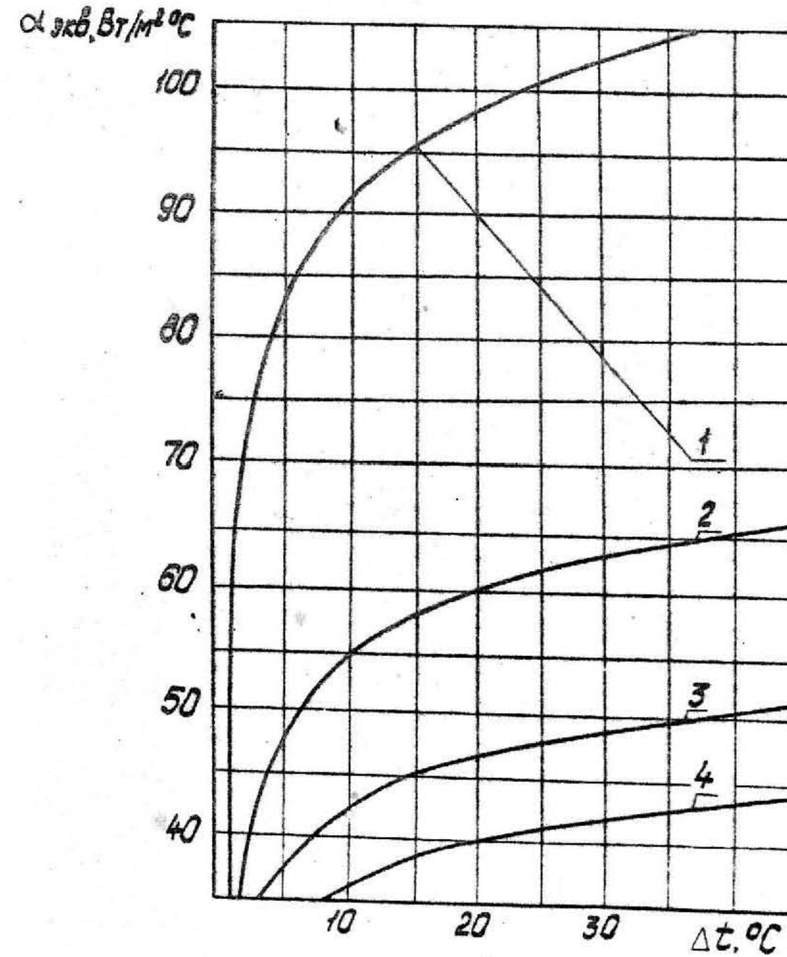
Номер чертежа конструкции	Геометрические размеры, м d	H	S	Способ и условия охлаждения	Критериальные зависимости теплообмена	Номер чертежа для определения $\alpha_{экв}$
6	0,0020	0,0125	0,0050	(1) Принудительное охлаждение		9
		0,0150				
		0,0200				
	0,0025	0,0320		$200 < Re < 2\cdot10^5$	$Nu = 0{,}21 \cdot Re^{0{,}8}$	
	0,0020	0,0125	0,007	$W_p = W\frac{S}{S-d}$		10
		0,0150				
		0,0200				
	0,0025	0,032				

Игольчато-штыревая поверхность



Черт.6

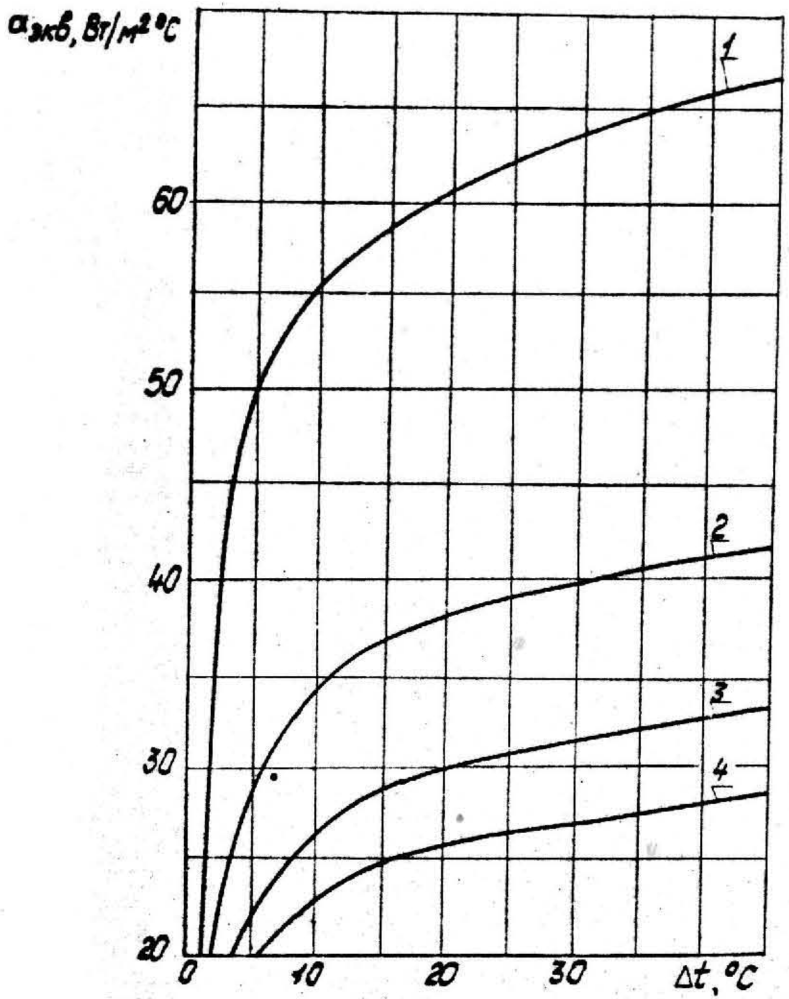
Зависимость $\alpha_{экв} = f(\Delta t)$, $s = 0{,}007$



Значения δ : I-0,032; 2-0,02; 3-0,0I5; 4-0,0I25.

Черт.7

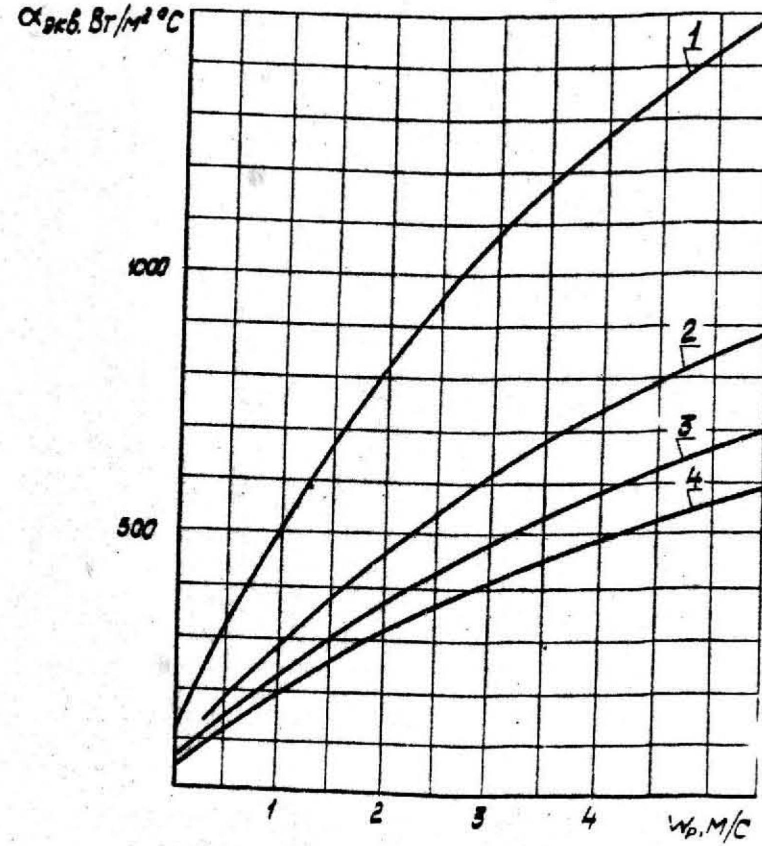
Зависимость $\alpha_{экв} = f(\Delta t)$, $S = 0{,}009$



Значения H : I-0,032; 2-0,02; 3-0,015; 4-0,0125.

Черт.8

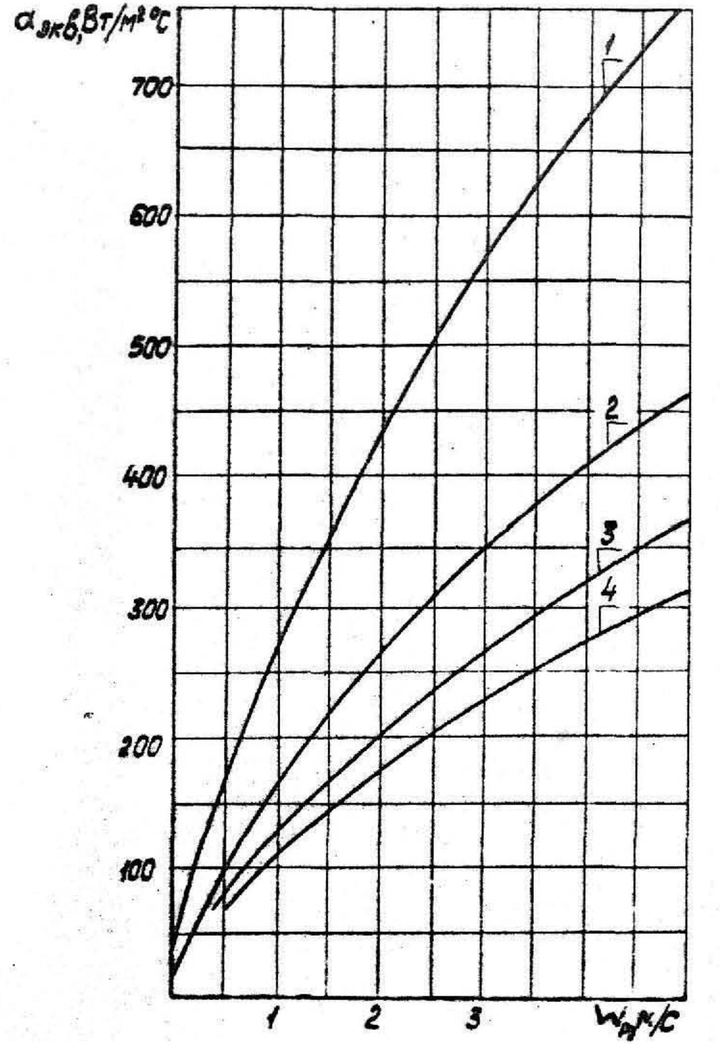
Зависимость $\alpha_{экв} = f(W)$; $S = 0{,}005$



Значения H : I-0,032; 2-0,02; 3-0,015; 4-0,0125.

Черт.9

Зависимость $\alpha_{экв} = f(W)$, $S = 0{,}007$



Значения H : I-0,032; 2-0,02; 3-0,0I5; 4-0,0I25.

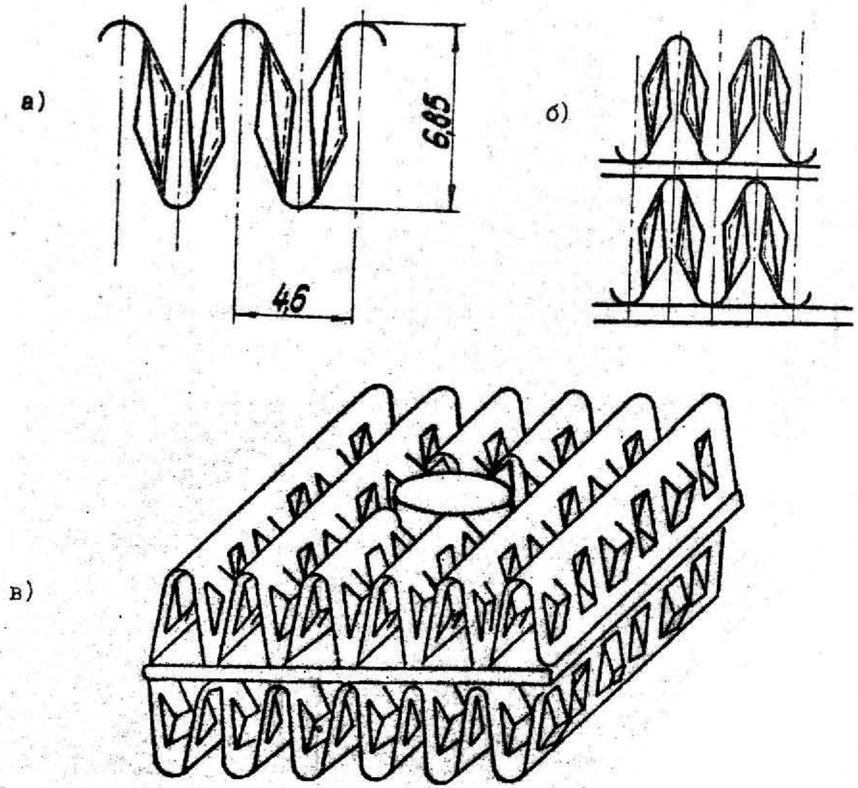
Черт.I0

Таблица 4

Геометрические размеры и критериальная зависимость теплообмена жалюзийной поверхности при принудительном охлаждении

Номер чертежа конструкции	Геометрические размеры, м	Критериальная зависимость теплообмена	Номер чертежа для определения $\alpha_{экв}$
II	Высота H, 0,007	$Nu = 0{,}0796\,Re^{0{,}7}$ $860 < Re < 3200$	I2
	Высота H, 0,0I4		I3
	Шаг оребрения S, 0,0046		
	Определяющий размер d 0,00329		
	Смоченный периметр ячейки U_c, 0,0386		
	Площадь живого сечения ячейки $f_я$ 0,0I49		

Жалюзийная поверхность



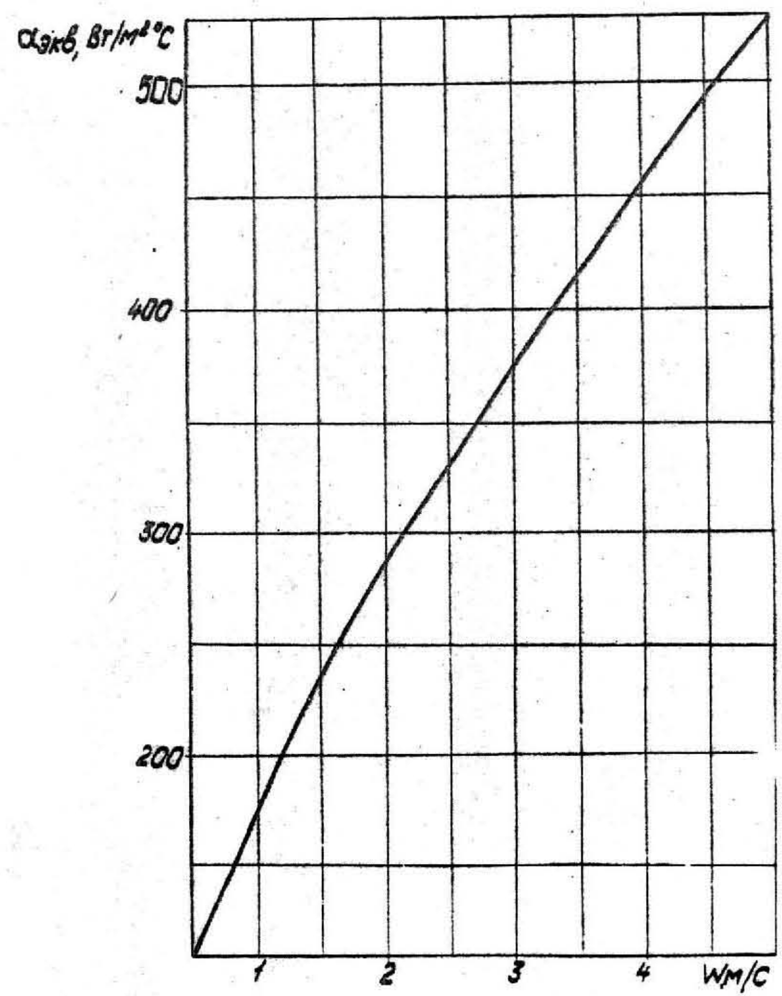
а) конструкция оребрения

б) двухслойное оребрение

в) радиатор

Черт.II

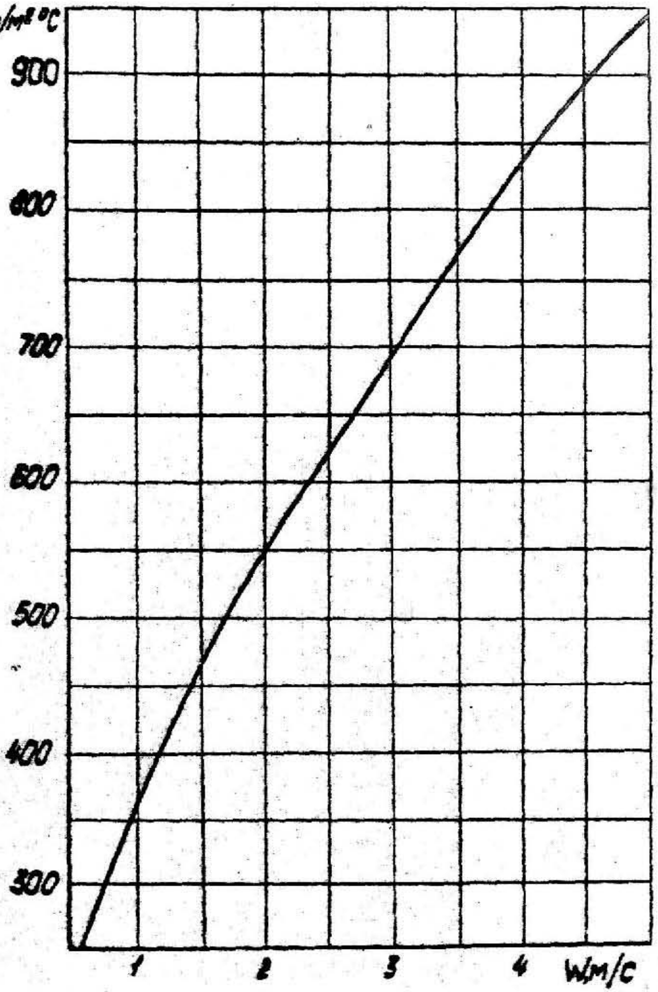
Зависимость $\alpha_{экв} = f(W)$



Жалюзийная поверхность однослойная, $H = 0{,}007$.

Черт.I2

Зависимость $\alpha_{экв} = f(W)$



Жалюзийная поверхность двухслойная, $H = 0,014$.

Черт.I3

Таблица 5

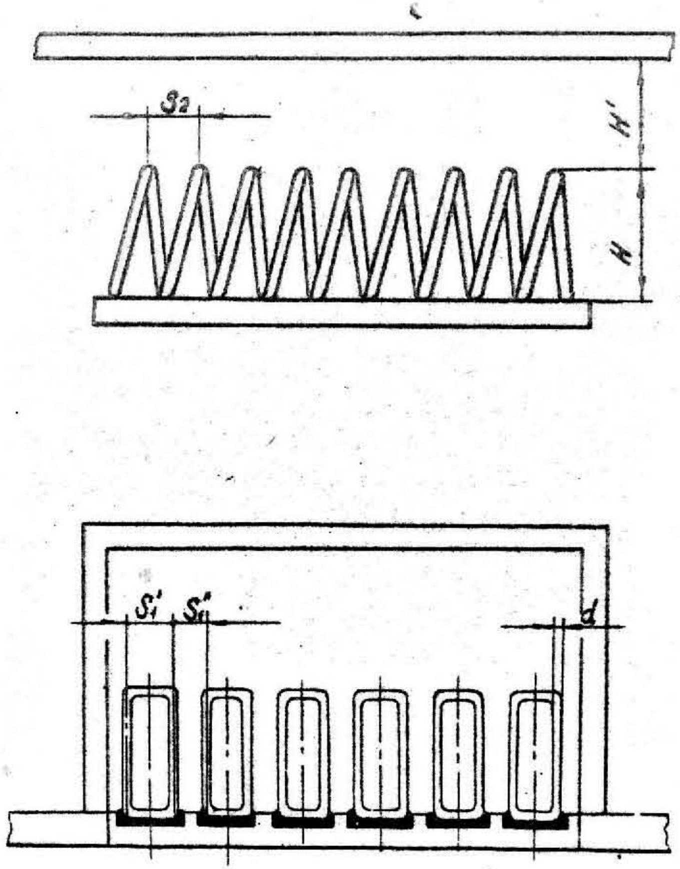
Геометрические размеры и критериальные зависимости теплообмена петельно-проволочных поверхностей при принудительном охлаждении (определяющий размер - диаметр проволоки $d = 0,002$ м)

Номер чертежа конструкции	Геометрические размеры, м					Коэффициент заполнения канала φ	Критериальные зависимости теплообмена	Номер чертежа для определения $\alpha_{экв}$
	S_2	S_1'	S_1''	H	H'			
I4	0,00310	0,0022	0,002	0,0045	0,002	0,96	$Nu = 0,0180\ Re^{0,80}$	I5
					0,009	0,33	$Nu = 0,0183\ Re^{0,85}$	
					0,0I55	0,256	$Nu = 0,0116\ Re^{0,92}$	
	0,00306	0,0022	0,002	0,002	0,002	0,883	$Nu = 0,0709\ Re^{0,707}$	I6
					0,0I2	0,6II	$Nu = 0,0574\ Re^{0,71}$	
					0,020	0,485	$Nu = 0,0467\ Re^{0,75}$	
					0,025	0,36	$Nu = 0,0048\ Re^{0,71}$	

Продолжение табл.5

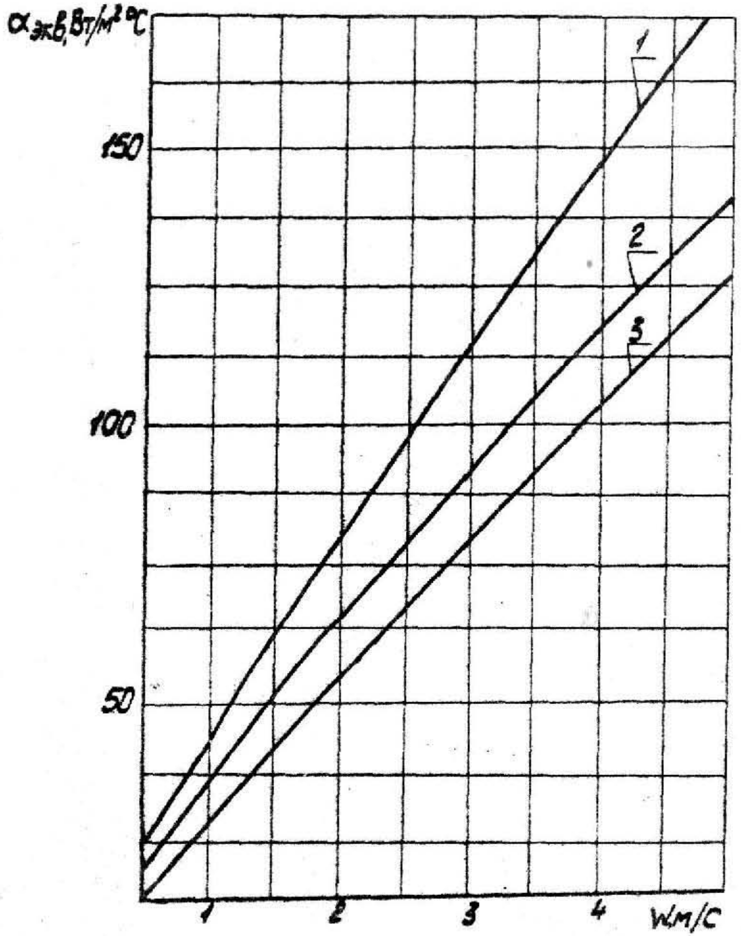
Номер чертежа конструкции	Геометрические размеры, м: S_2	S_1'	S_1''	H	H'	Коэффициент заполнения канала φ	Критериальные зависимости теплообмена	Номер чертежа для определения $\alpha_{экв}$
14	0,0015	0,0025	0,0025	0,0130	0,002	0,948	$Nu = 0{,}0240\,Re^{0{,}84}$	17
					0,005	0,734	$Nu = 0{,}0210\,Re^{0{,}84}$	
					0,020	0,402	$Nu = 0{,}0190\,Re^{0{,}86}$	
					0,040	0,237	$Nu = 0{,}0129\,Re^{0{,}89}$	
	0,0024	0,0025	0,0020	0,0130	0,001	0,952	$Nu = 0{,}0520\,Re^{0{,}74}$	18
					0,005	0,373	$Nu = 0{,}0729\,Re^{0{,}67}$	
					0,020	0,402	$Nu = 0{,}0400\,Re^{0{,}74}$	
					0,040	0,237	$Nu = 0{,}0310\,Re^{0{,}73}$	

Радиатор с петельно-проволочным оребрением



Черт.14

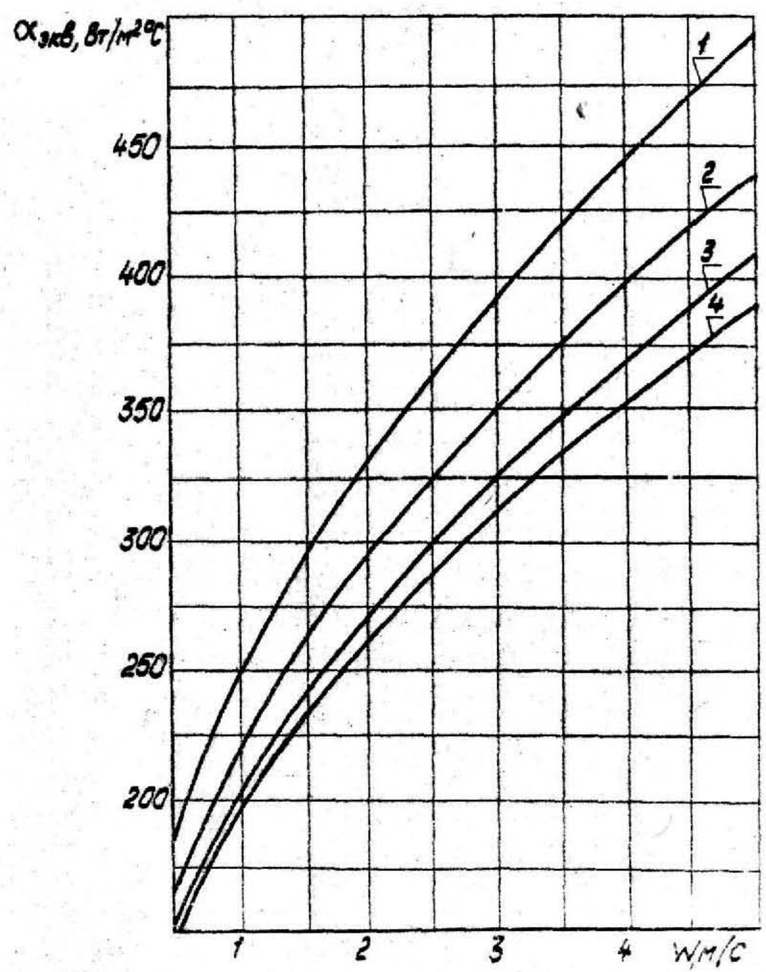
Зависимость $\alpha_{экв} = f(W)$



Значения φ : I–0,960; 2–0,330; 3–0,256.

Черт.I5

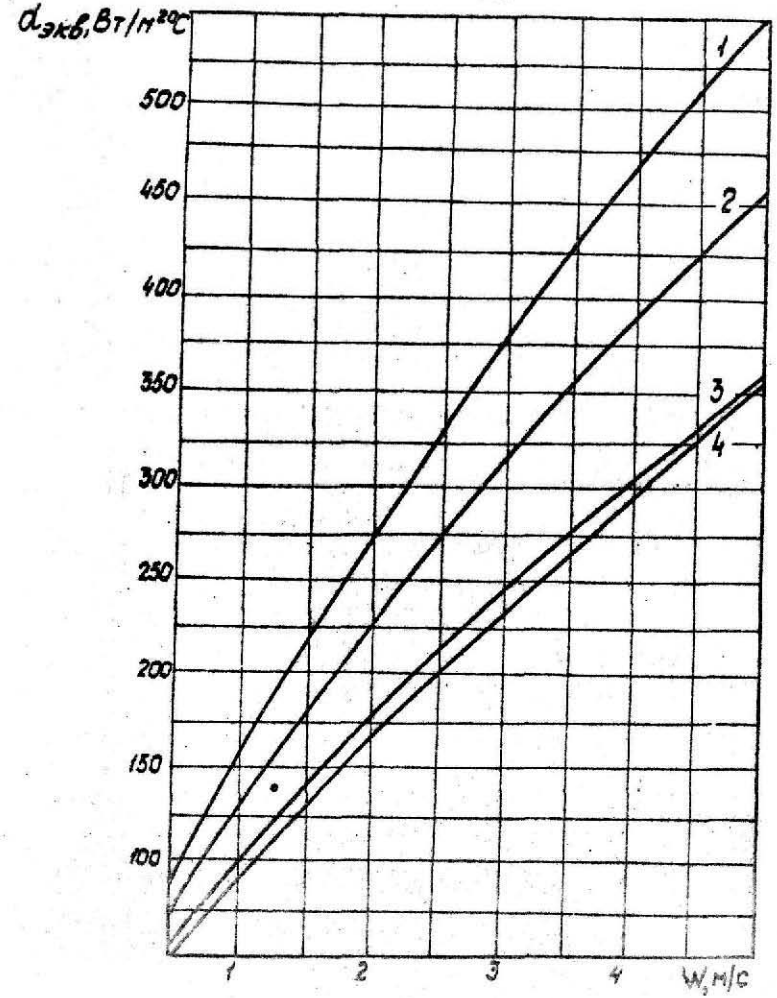
Зависимость $\alpha_{экв} = f(W)$



Значения φ : I–0,883; 2–0,6II; 3–0,485; 4–0,36.

Черт.I6

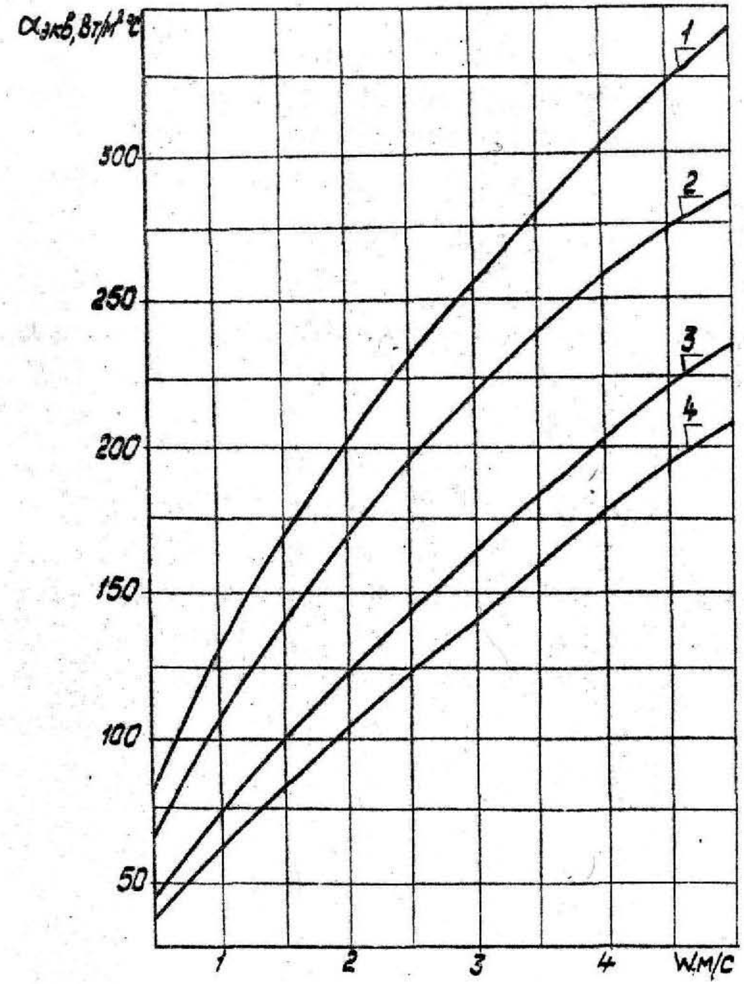
Зависимость $\alpha_{экв} = f(W)$



Значения φ : I–0,948; 2–0,734; 3–0,402; 4–0,237.

Черт.I7

Зависимость $\alpha_{экв} = f(W)$



Значения φ : I–0,9I4; 2–0,643; 3–0,348; 4–0,207.

Черт.I8

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Справочное

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Таблица I

Теплофизические свойства воздуха

t, °С	$\rho_в$, кг/м³	C_p, Дж/кг°С	$\lambda_в$, Вт/м²°С	~~ν·10⁺⁵ м²/с~~ V·10⁺⁵, м²/с
0	I,295	I,005	2,440	I,328
I0	I,247	I,005	2,434	I,4I6
20	I,205	I,005	2,586	I,506
30	I,I65	I,005	2,674	I,600
40	I,I28	I,005	2,756	I,696
50	I,093	I,005	2,8I9	I,795
60	I,060	I,007	2,888	I,897
70	I,029	I,009	2,958	2,002
80	I,000	I,009	3,039	2,I09

Таблица 2

Теплофизические свойства материалов, применяемых при конструировании СВЭП

Наименование материала	ρ, кг/м³	λ, Вт/м²°С	C, Дж/кг°С
Алюминий	2700	2I0	0,90
Сплав Д-I6М	2750	I60-I80	0,92
Сплав Д-I6Т	2750	II0	0,92
Сплав АЛ-2	2650	I70	0,83
Сплав АЛ-9	2660	I60	0,90
Сплав АМЦ	27I0	220	0,94
Сплав ДIАТ	2800	II5	0,9I
Сплав ДIАМ	2800	I70	0,9I
Текстолит	I300-I400	0,22-0,33	I,5-I,46
Стеклотекстолит	I800	0,372	0,42
Гетинакс	I2I5	0,I65	–

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Рекомендуемое

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Транзистор 2Т908А, рассеивающий мощность 25 Вт, установлен в блоке, габариты которого L_{max} = 0,II0м, B_{max} = 0,I35м, расстояние между платами H_{max} = 0,040м. Максимальная температура окружающей среды t_c = 60°С. Выбрать оребрение, обеспечивающее минимальные габариты радиатора при естественном охлаждении или принудительном охлаждении со скоростью не более I м/с.

Радиатор изготовлен из сплава АЛ-2, расположен в блоке вертикально.

Расчет тепловой модели

Исходные данные для расчета

Сведения об ИТ по техническим условиям ГЕЗ.365.007ТУ:

P = 25 Вт;

t_M = 90°С;

R_o = 0,0II5м;

$S_к$ = 0,00092 м².

Сведения о конструкции:

L_{max} = 0,II0м;

B_{max} = 0,I35м;

H_{max} = 0,040 м.

По ОСТ4 865.002

$R_{кр}$ = 0,4 °С/Вт.

При установке транзистора выполняется выборка оребрения, радиатор расположен вертикально.

Расчет тепловой модели

Определяют $K_к$ по формуле (2) настоящего стандарта

$$K_к = \frac{I}{0{,}4\cdot 3{,}I4\cdot 0{,}0II5^2}\ \text{Вт/м}^2\cdot{}^\circ\text{С} = 6020{,}2\ \text{Вт/м}^2\cdot{}^\circ\text{С}$$

Определяют $P_к$ по п.3.I.2.2 настоящего стандарта.

При естественном охлаждении $\alpha_к$ определяют по графику черт.I справочного приложения 2 при Δt = 90°С − 60°С = 30°С и L = 2·0,0II5м = 0,0230м,

$\alpha_к$ = 7,5 Вт/м² · °С,

$P_к$ = 7,5 · 0,00092 · 30 Вт = 0,2I Вт.

Определяют K по формуле (I) настоящего стандарта

$$K = \frac{25 - 0{,}2I}{3{,}I4\cdot 0{,}0II5^2\cdot 30}\ \text{Вт/м}^2\cdot{}^\circ\text{С} = I989{,}9\ \text{Вт/м}^2\cdot{}^\circ\text{С}.$$

Проверяют выполнение условия (6) настоящего стандарта

6020,2 Вт/м²·°С > 3979,8 Вт/м²·°С.

Определяют $\Delta t_э$ по формуле (7) настоящего стандарта

$$\Delta t_э = 90^\circ\text{С} - 60^\circ\text{С} - \frac{25 - 0{,}2I}{6020{,}2\cdot 3{,}I4\cdot 0{,}0II5^2}\ {}^\circ\text{С} = 20{,}I^\circ\text{С}.$$

По черт.I,4,7,8 рекомендуемого приложения 2 определяют, что наибольшее значение $\alpha_{экв_1}$ при допустимой высоте H_{max} = 0,04м обеспечивает игольчато-штыревая поверхность,

у которой шаг S = 0,007м, высота H = 0,032м, для которой при $\Delta t_в$ = 20°С $\alpha_{экв_1}$ = 98 Вт/м² °С. ①

По черт.I рекомендуемого приложения 2 в соответствии с рекомендациями п.3.I.2.7 настоящего стандарта определяют при $L = L_{max}$ = 0,II0м

$$\alpha_в = 4,6 \text{ Вт/м}^2 \cdot {}^\circ\text{С}.$$

Так как неоребренная поверхность пластины принимает участие в теплообмене, то $\alpha_{экв_2} = \alpha_в$ = 4,6 Вт/м²·С и

① $\alpha_{экв}$ = 98 Вт/м² °С + 4,6 Вт/м²·°С = I02,6 Вт/м²·°С.

Определяют необходимое значение коэффициента A по формуле (8) настоящего стандарта

$$A = (1989,9 - \frac{6020,2 \cdot 4,6}{6024,8}) \cdot \frac{6024,8}{2 \cdot 6020,2^2} = 0,17.$$

Определяют δ по п.3.I.2.9 настоящего стандарта

$$\delta \geqslant \frac{6020,2 + 4,6}{170 \cdot 0,7} \cdot 0,0115^2 \text{ м} = 0,006\text{м}.$$

Принимают δ = 0,006м.

Определяют E ~~$\mathcal{A}$~~ ① и C по формулам (I0), (II) настоящего стандарта

$$① \; E = \sqrt{\frac{6024,8}{170 \cdot 0,006}} \cdot 0,0115 = 0,88;$$

$$C = \sqrt{\frac{102,6}{6024,8}} = 0,13.$$

Определяют N в соответствии с п.3.I.2.II по графику черт.9 настоящего стандарта.

Так как величина N превышает значения, представленные на черт.9 настоящего стандарта и толщина пластины δ равна максимальному значению, то переходят к принудительному охлаждению в соответствии с п.3.I.2.I6 настоящего стандарта.

Принимают W = I м/с в соответствии с п.3.I.3.① настоящего стандарта и по черт.2,6,9,I0,I2,I3,I5–I8, рекомендуемого приложения 2 определяют, что при W = I м/с и H_{max} = 0,04м наибольшее значение $\alpha_{экв}$ обеспечивает игольчато-штыревая поверхность S = 0,005м; H = 0,032м.

Определяют расход воздуха G по п.3.I.2.I7 настоящего стандарта

$$G = 6 \; 0,0115 \cdot 1 \cdot 1,093 \cdot 0,032 \text{ кг/с} = 0,0024 \text{ кг/с}.$$

Определяют мощность $P_к$ при вынужденном охлаждении по п.3.I.2.2 настоящего стандарта.

При вынужденном охлаждении $P_к$ определяют по черт.2 рекомендуемого приложения 2 при L = 2 · 0,0115м = 0,023м,

$\alpha_к$ = I0 Вт/м²·°С

$$P_к = 0,00092 \cdot 10 \cdot 30 \text{ Вт} = 0,27 \text{ Вт}.$$

Определяют $\bar{t}_c$ по п.3.I.2.I8 настоящего стандарта

$$\bar{t}_c = 60^\circ\text{С} + \frac{25 - 0,27}{2 \cdot 1007 \cdot 0,0024} {}^\circ\text{С} = 64,9^\circ\text{С}.$$

Повторяют расчет по ~~пп.2.3, 2.5, 2.6, 2.8, 2.9~~ формуле (I) ① настоящего ~~приложения~~ стандарта ①

$$K = \frac{25 - 0,27}{3,14 \cdot 0,0115^2 \cdot (90 - 64,9)} = 2372,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot {}^\circ\text{С}$$

По табл. 3 и черт. 9 рекомендуемого приложения 2 для выбранной теплообменной поверхности при W = I м/с

$$W_p = I \cdot \frac{0,005}{0,005 - 0,0025} \text{ м/с} = 2 \text{ м/с}$$

$$\alpha_{экв1} = 820 \text{ Вт/м}^2 \cdot {}^\circ C.$$

По черт. 2 рекомендуемого приложения 2

$$\alpha_в = \alpha_{экв2} = 7,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot {}^\circ C;$$

$$\alpha_{экв} = 820 \text{ Вт/м}^2 \cdot {}^\circ C + 7,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot {}^\circ C = 827,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot {}^\circ C$$

$$A = \left(2372,2 - \frac{6020,2 \cdot 7,5}{6027,7}\right) \cdot \frac{6027,7}{2 \cdot 6020,2^2} = 0,196$$

$$C = \sqrt{\frac{827,5}{6027,7}} = 0,37, \quad E = \sqrt{\frac{6027,7}{170 \cdot 0,006}} \cdot 0,0115 = 0,88,$$

N = 3,0 (см. черт. 9 настоящего стандарта).

По формуле (I2) настоящего стандарта определяют радиус тепловой зоны

$$R = 3,0 \cdot 0,0115 \text{ м} = 0,0345 \text{ м}.$$

Определяют площадь пластины $F_{осн}$ по формуле (I3) настоящего стандарта

$$F_{осн} = 3,14 \cdot 0,0345 \text{ м}^2 = 0,004 \text{ м}^2.$$

Определяют ширину B и длину L пластины по п. 3.I.2.I4 настоящего стандарта

$$B = 2,2 \cdot 0,00345 \text{ м} = 0,076 \text{ м},$$

$$L = 0,054 \text{ м}.$$

Проводят поверочный расчет по п. 3.I.5 настоящего стандарта при следующих исходных данных:

B = 0,076 м; L = 0,054 м; δ = 0,006 м;

B = 0,076 м;

L = 0,066 м;

δ = 0,006 м;

(1)

$K_к$ = 6020,2 Вт/м². °С;

$P_к$ = 0,27 Вт;

P = 25 Вт;

W = I м/с.

Оребрение – игольчато-штыревая поверхность S = 0,005м, H = 0,032м.

Определяют N по формуле (I8) настоящего стандарта

$$N = \sqrt{\frac{0,076 \cdot \text{~~0,066~~ } 0,054}{3,14 \cdot 0,0115^2}} = \text{~~3,45~~ } 3,14 \text{ (1)}$$

По черт.2 рекомендуемого приложения 2 при L = ~~0,066~~ 0,054 м

$\alpha_{экв2} = \alpha_в$ = ~~9,6~~ 9,0 (1) Вт/м². °С.

(1)

По табл.3 и черт.I0 рекомендуемого приложения 2 для выбранной поверхности W_p = 2 м/с и $\alpha_{экв1}$ = 820 Вт/м². °С; $\alpha_{экв}$ = 829 Вт/м². °С (1)

Определяют E (1) по формуле (I0) настоящего стандарта

$$E = \sqrt{\frac{6020,2 + \text{~~9,6~~ } 9,0}{170 \cdot 0,006}} \cdot 0,0115 = 0,88.$$

Определяют C по формуле (II) настоящего стандарта

$$C = \sqrt{\frac{\text{~~820~~ } 829}{6029,2}} = 0,37.$$

Определяют A, пользуясь схемой черт.5, по черт.9 настоящего стандарта

$$A = 0,205.$$

Определяют расход воздуха G при B = 0,076м по формуле (I6) настоящего стандарта

$$G = 0,076 \cdot I \cdot 1,044 \cdot 0,032 \text{ кг/с} = 0,00254 \text{ кг/с}.$$

Определяют среднее значение температуры среды $\bar{t}_c$ по формуле (I7) настоящего стандарта

$$\bar{t}_c = 60^{\circ}C + \frac{25 - 0{,}27}{2 \cdot 1007 \cdot 0{,}00254}\,^{\circ}C = 64{,}85^{\circ}C.$$

Определяют мощность P_s, рассеиваемую радиатором, по формуле (2I) настоящего стандарта

$$P_s = 3{,}14 \cdot 0{,}0115^2 \cdot (90 - 64{,}85) \cdot \left(\frac{6020{,}2 \cdot 9{,}5}{6029{,}5} + \frac{2 \cdot 6020{,}2^2}{6029{,}5}\, 0{,}205\right) =$$

= 25,8 Вт.

Проверяют выполнение условия (22) настоящего стандарта

25,8Вт > ~~25Вт~~. 24,73В (1)

СОДЕРЖАНИЕ